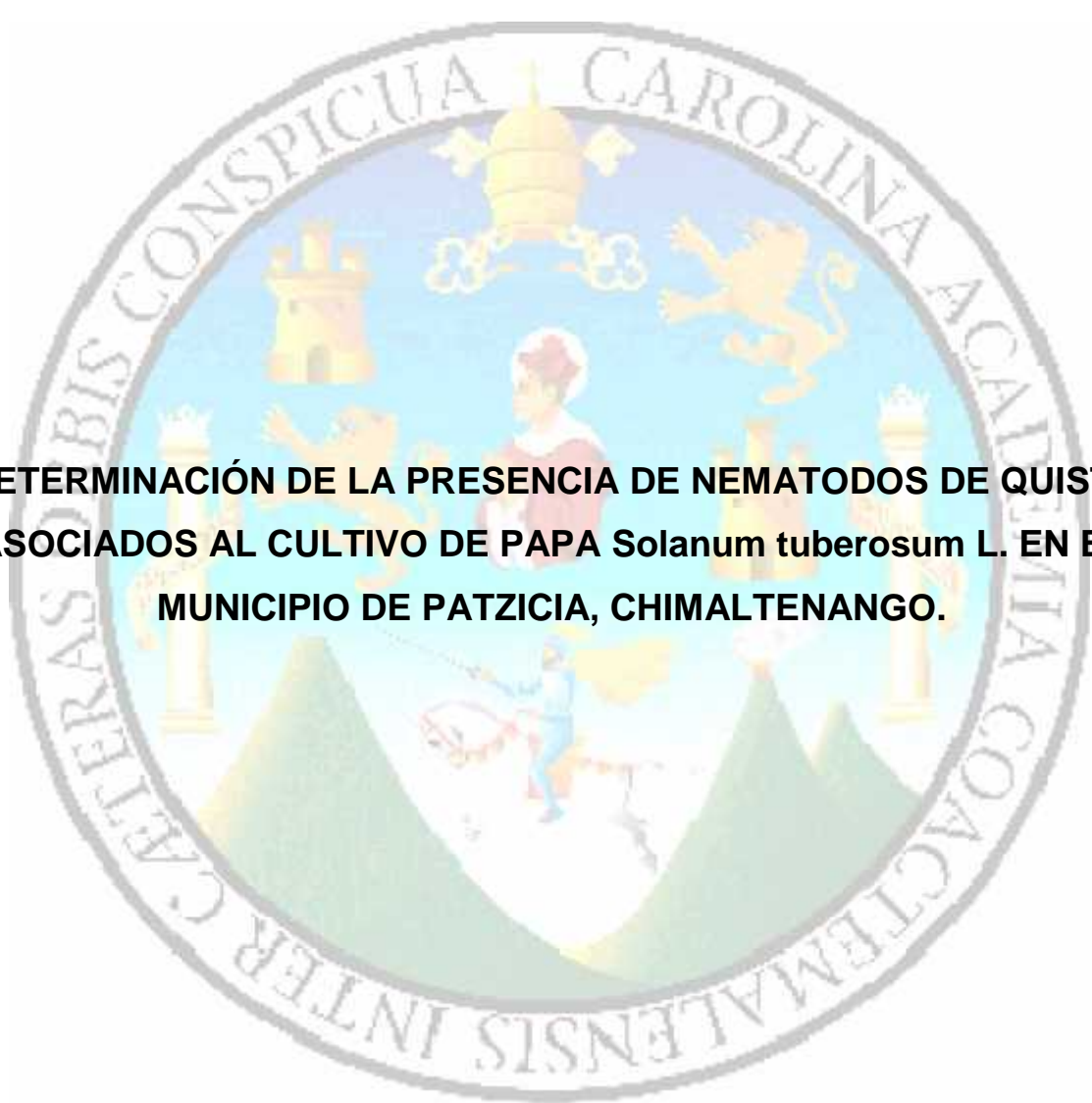


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man in a red and white robe, likely a saint or scholar, standing on a white cloud. Above him is a golden crown. To the left and right are golden castles. The background is a light blue sky with a green mountain range at the bottom. The Latin motto "SIBI CONSPICUA CAROLINA ACCADEMIA COACTEMALENSIS INTER CÆTERAS" is inscribed around the perimeter of the seal.

**DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE NEMATODOS DE QUISTE
ASOCIADOS AL CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum* L. EN EL
MUNICIPIO DE PATZICIA, CHIMALTENANGO.**

MARCOS LEONEL SALGUERO DE LEON

GUATEMALA, MAYO DEL 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

**DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE NEMATODOS DE QUISTE
ASOCIADOS AL CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum* L. EN EL
MUNICIPIO DE PATZICIA, CHIMALTENANGO.**

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MARCOS LEONEL SALGUERO DE LEON

En el acto de investidura como,

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DEL 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
SECRETARIO	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Br. Wener Armando Ochoa Orozco

VOCAL QUINTO

Br. Juan Manuel Corea Ochoa

Guatemala, mayo del 2003.

Honorable Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

“ DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE NEMATODOS DE QUISTE ASOCIADOS AL CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum* L. EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, CHIMALTENANGO.”

Presentándola como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola en el grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando que el mismo tenga vuestra aprobación, quedo de antemano con ustedes muy agradecido,

Atentamente

Marcos Leonel Salguero de León.

ACTO QUE DEDICO

A : DIOS, mi Padre Celestial, siempre fiel, quien me ha llenado de su gracia y amor; me ha dado su salvación y la oportunidad de ser su hijo por medio de la fe en Cristo Jesús.

Mis padres : Julio César y María Angélica

Por su esfuerzo, dedicación, apoyo, enseñanzas, valores y ejemplo de vida; esperando que se sientan honrados y bendecidos, ya que esta meta alcanzada no es solamente mía sino de ustedes.

Mis hermanos : Jacobo Alejandro, Joel Eduardo y Miriam Jocabed

Por su apoyo y compañía en todo momento, con mucho cariño para ustedes esperando en Dios que todo lo que hagan sea prosperado.

Mi sobrinito : Sebastián Salguero Meléndez

Quien me llena de mucha alegría, Dios te cuide y proteja siempre.

Mi abuelo : Miguel Ángel De León Ruano, por tus oraciones y ejemplo de fortaleza.

Mis abuelitas: Que ya han pasado a mejor vida, a Enriqueta Aragón (doña Quetía) Q.P.D. ejemplo de vida espiritual y amor para mi familia, y Rosaura Cojulún Q.P.D. a quienes recuerdo con mucho agradecimiento y cariño.

Mi familia : En especial a las familias De León Robles y Solís Medina por estar siempre con nosotros en los momentos de alegría y dificultad. A mis tíos Guillermo y Alba, Miguel Ángel y Eduardo que se encuentran en el extranjero. A mis tías Maria Elena, Marina y sus familias, tío Abraham con mucho respeto y cariño.

Mis hermanos en la fe de Iglesia Cristiana Verbo, aquellos que me apoyaron con sus oraciones y me han dado palabras de aliento para ser mejor cada día.

Ingrid Castillo, agradeceré siempre tus palabras de ánimo, motivación, oraciones y buenos deseos, eres muy especial.

La señora María Elena de Martínez por su apoyo incondicional en el alcance de metas importantes de mi familia.

Mayacrops S.A. por permitirme realizar mi EPS en finca Villa Canales agradeciendo especialmente a Don Tim Crawford, a los Ing. Agr. Luis Pacheco, Boris Sandoval, Elder Berdúo y Juan José Loarca por transmitirme su experiencia y conocimientos, así también a Marvin Guzmán, Ramón, Fredy, Cristina, Belinda, Clarita, Marlon Carrera, Marvin Castillo, David Pérez, personal administrativo, supervisores, trabajadores de campo a quienes recuerdo por su amistad y respeto.

Mis amigos y compañeros de la FAUSAC en especial a Aníbal Mendoza, Rafael Galván, Pablo Cordón y su esposa, Carlos Ramírez, Tino Osorio, Luis Blanco y Jefone Del Cid; así también a Jerónimo López, Lilo Jordán, Axcel De León, Luis Orellana, Hugo Mérida, Rodrigo Gonzáles, Mario Gramajo, Fernando De León, Leonardo Mazariegos, Oscar Ajanel, Elmer Roldán, Nick Estrada y Rubén Saldaña entre otros por todas las experiencias que vivimos durante nuestra preparación profesional.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS, FUENTE DE SABIDURÍA, CONOCIMIENTO Y FORTALEZA.

MI FAMILIA

MI PATRIA GUATEMALA

LA TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE ESTUDIO

LOS HORTICULTORES DEL MUNICIPIO DE PATZICIA, CHIMALTENANGO

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis padres por su total respaldo moral y económico a lo largo de mis estudios y esta tesis.

Mi asesor, Ing. Agr. Gustavo Álvarez, por permitirme trabajar con usted en este estudio importante, por ser ejemplo de esfuerzo, exigencia y capacidad para hacer las cosas bien, le estaré agradecido siempre, Dios lo bendiga a usted y a su familia.

Los evaluadores de esta investigación, Ing. Agr. Luis Macz, Ing. Agr. Samuel Córdova, Dr. Ariel Ortiz y Dr. David Monterroso por sus aportes y correcciones puntuales.

Luis Blanco, Rafael Galván y Carlos René Ramírez por su apoyo incalculable.

Elmer Reyes (AGEXPRONT) por su valioso tiempo dedicado a parte de este estudio.

El laboratorio de Fitopatología de la Subárea de Protección de Plantas de la FAUSAC por proveer el material y equipo necesario para la realización de este estudio.

La municipalidad de Patzicía por su respaldo en la realización de esta investigación.

[caratula tesis.doc](#) **INDICE GENERAL**

INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	
3.1 MARCO CONCEPTUAL	
3.1.1 Origen del cultivo de la papa	3
3.1.2 Datos generales del cultivo de la papa	3
3.1.3 Importancia del cultivo de la papa en Guatemala	5
3.1.4 Variedades mas importantes utilizadas en Guatemala	8
3.1.5 Zonas productoras de papa en Guatemala	9
3.1.6 Los Nematodos Fitopatógenos	13
3.1.6.1 Características morfológicas y anatómicas	13
3.1.6.2 Biología y Ciclo de vida	14
3.1.6.3 Ecología y Distribución	15
3.1.6.4 Consideraciones para que un nematodo sea parásito	15
3.1.6.5 Síntomas y daños que provocan los nematodos a las plantas	16
3.1.6.6 Nematodo de quiste de la papa	18
3.1.7 Nematodos de la subfamilia Heteroderinae	
3.1.7.1 Historia y clasificación taxonómica	19
3.1.7.2 Descripción de la subfamilia Heteroderinae y sus	

géneros	21
3.1.7.3 Ciclo biológico de los nematodos de quiste	22
3.1.7.4 Historia del estudio de los nematodos de quiste	22
3.1.7.5 Descripción de los géneros de la subfamilia Heteroderinae	23
3.1.7.6 Glosario anatómico de los nematodos de quiste	29
3.1.7.7 Identificación del nematodo dorado de la papa	30
3.1.7.8 Biología del nematodo dorado de la papa	31
3.1.7.9 Patogenicidad y magnitud del daño producidos por el nematodo dorado	32
3.1.7.10 Distribución geográfica del nematodo del quiste de la papa	34
3.1.7.11 Dinámica poblacional y difusión de los nematodos de la subfamilia Heteroderinae	35
3.1.7.12 Estudios recientes sobre nematodos del quiste en Guatemala	37
3.1.8 Aspectos legales para la fitozoosanidad en Guatemala	37
3.2 MARCO REFERENCIAL	
3.2.1 Localización	
3.2.2 Características climáticas	
3.2.3 Condiciones edáficas, topográficas y vegetación	39
4. OBJETIVOS	40
5. HIPÓTESIS	41
6. METODOLOGÍA	
6.1 Delimitación del área de muestreo	42
6.2 Planificación del muestreo	45
6.3 Fase de campo	
6.3.1 Toma de muestras de suelo	46
6.3.2 Manejo de las muestras de suelo	46
6.4 Fase de Laboratorio	
6.4.1 Extracción y aislamiento de nematodos de quiste	47
6.4.2 Procedimiento para la extracción de nematodos de quiste	47
6.4.3 Determinación de los géneros de nematodos de quiste	48
6.4.3.1 Preparación de montajes de fenestralias de quistes	49
6.4.4 Prueba de bioensayo para determinar patogenicidad	50
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1 Determinación de los distintos géneros de nematodos de quiste encontrados en las plantaciones de papa en las áreas muestreadas	51
7.2 Distribución e incidencia de los distintos géneros en las áreas muestreadas	52
7.3 Descripción de los géneros de nematodos de quiste localizados en los campos cultivados con papa	66
7.4 Resultados de los bioensayos	70

8. CONCLUSIONES	71
9. RECOMENDACIONES	72
10. BIBLIOGRAFÍA	73
11. ANEXOS	77

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1	Clasificación taxonómica de la papa.	4
CUADRO 2	Producción y comercialización de la papa en Guatemala (1995-2001).	6
CUADRO 3	Composición química de la papa.	7
CUADRO 4	Areas de producción en has cultivada, producción y época de cosecha de cultivo de papa en Guatemala.	10
CUADRO 5	Principales diferencias morfométricas entre <i>Globodera rostochiensis</i> y <i>G. pallida</i> .	31
CUADRO 6	Países reportados con la presencia del nematodo dorado de la papa.	34
CUADRO 7	Distribución de interacción de géneros en las mismas muestras de suelo por aldea.	53
CUADRO 8	Distribución de géneros de la subfamilia <i>Heteroderinae</i> por aldea muestreadas en los campos de papa de Patzicía.	54
CUADRO 9	Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en las muestras de suelo provenientes de la aldea el Sitán, Patzicía.	57
CUADRO 10	Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en las muestras de suelo provenientes de la aldea el Caman, Patzicía.	59

CUADRO 11 Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en las muestras de suelo provenientes de la aldea el Xuluc, el Pahuit y el Llano, Patzicía.	63
CUADRO 12 Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en las muestras de suelo provenientes de el Valle de Patzicía.	65
CUADRO 13 Datos biométricos de varios especímenes de quistes encontrados en áreas cultivadas con papa en el municipio de Patzicía y su comparación con datos biométricos del nematodo dorado.	69
CUADRO 14A Resultados de los bioensayos realizados en macetas con plantas de papa inoculadas con los géneros presentes en el municipio de Patzicía.	79

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Morfología de una planta de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	7
FIGURA 2 Areas óptimas para el cultivo de la papa en Guatemala.	9
FIGURA 3 Campo de papa recién plantado en Chimaltenango.	12
FIGURA 4 Quistes de <i>Globodera rostochiensis</i> parasitando porción de papa.	18
FIGURA 5 Hembras y quistes del género <i>Globodera</i> parasitando raíces.	28
FIGURA 6 Cortes perineales de quistes de <i>Globodera rostochiensis</i> y <i>G. pallida</i> .	30
FIGURA 7 Área de sincitio multinucleado provocado por una hembra de <i>Globodera</i> .	33
FIGURA 8 Daño causado en una plantación de papa por el nematodo dorado.	34
FIGURA 9 Distribución mundial del nematodo dorado de la papa.	35
FIGURA 10 Ubicación geográfica de la aldea el Sitán.	42
FIGURA 11 Ubicación geográfica de la zona de el Llano.	42
FIGURA 12 Ubicación geográfica de la aldea el Camán.	43
FIGURA 13 Ubicación geográfica de el valle de Patzicía.	43
FIGURA 14 Ubicación geográfica de la aldea el Xuluc.	44

FIGURA 15	Ubicación geográfica de la aldea el Pahuit.	44
FIGURA 16	Equipo utilizado para la extracción de quistes por el método de flotación	48
FIGURA 17	Gráfica comparativa de sitios con quistes en la zona productora de papa de Patzicía.	51
FIGURA 18	Géneros de nematodos de la subfamilia <i>Heteroderinae</i> encontrados en los 171 sitios muestreados en áreas de cultivo de papa en el municipio de Patzicía.	52
FIGURA 19	Interacción de géneros en una misma muestra en todos los sitios muestreados.	53
FIGURA 20	Distribución de los géneros de nematodos de quiste encontrados en el municipio de Patzicía por aldea muestreada.	54
FIGURA 21	Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea el Sitán.	55
FIGURA 22	Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea el Camán.	58
FIGURA 23	Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea el Xuluc.	60
FIGURA 24	Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea el Pahuit.	61
FIGURA 25	Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en el Llano.	62
FIGURA 26	Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en el valle de Patzicía.	64
FIGURA 27	Corte de fenestralia de quiste y quistes del género <i>Punctodera</i> localizado en el municipio de Patzicía.	66
FIGURA 28	Cortes de fenestralias de quistes del género <i>Heterodera</i> localizados en el municipio de Patzicía.	67
FIGURA 29	Forma característica de los quistes del género <i>Heterodera</i> .	67
FIGURA 30	Corte de fenestralia de quiste y quiste del género <i>Afenestrata</i> localizado en el municipio de Patzicía.	68
FIGURA 31	Corte de fenestralia de quiste y quistes del género <i>Globodera</i>	

localizado en el municipio de Patzicía.	69
FIGURA 32A Forma de muestreo de suelo en zig-zag utilizado en la investigación.	77
FIGURA 33A Fase de extracción de quistes por el método Fenwick y material orgánico y quistes obtenidos de la extracción.	77
FIGURA 34A Extracción de quistes por flotación en acetona y separación de quistes de material orgánico vistos en estereoscopio.	78
FIGURA 35A Muestra de algunas macetas sembradas con papa e inoculadas con quistes de cada género localizado en Patzicía y un testigo.	78
FIGURAS 36A - 40A Mapas representando géneros de los sitios muestreados en el municipio de Patzicía.	80

DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE NEMATODOS DE QUISTE ASOCIADOS AL CULTIVO DE PAPA *Solanum tuberosum* L. EN EL MUNICIPIO DE PATZICIA, CHIMALTENANGO.

DETERMINATION OF CYST NEMATODES PRESENCY ASOCIATED TO THE CROP ZONE OF POTATO *Solanum tuberosum* L. IN PATZICIA, CHIMALTENANGO.

RESUMEN

La producción hortícola en el altiplano guatemalteco es de gran importancia para los medianos y pequeños agricultores que entre otros se dedican al cultivo de la papa, debido a que es una fuente de trabajo e ingresos. Este cultivo es afectado por el ataque de plagas del suelo como los nematodos causando pérdidas en el rendimiento y calidad del producto cosechado, entre los nematodos de importancia se encuentran los de la subfamilia *Heteroderinae* (nematodos de quiste), que es un grupo importante y poco estudiado en Guatemala, esta subfamilia agrupa a especies cuarentenadas como ***Globodera rostochiensis*** y ***G. pallida*** que provocan pérdidas significativas por el daño que causan, de los cuales la papa es su hospedero principal. A finales del año 2,001 el gobierno hondureño ordenó el cierre de fronteras para el ingreso y comercialización de papa proveniente de Guatemala por la sospecha de la presencia de quistes del nematodo dorado por detecciones de ese país y que no fue confirmado; esto trae como consecuencia negativa que los productores de papa nacionales no puedan comercializarla pues no hay certeza que las áreas cultivadas de

Guatemala estén libres del nematodo dorado. Por lo anterior se dio la necesidad de realizar esta investigación dirigida a determinar la presencia de géneros de la subfamilia *Heteroderinae* en las zonas productoras de papa y si existe la presencia o no del nematodo dorado en el municipio de Patzicía, esto con el fin de declararla o no como área libre de este nematodo y así la comercialización de la papa de este municipio no sería afectada.

Esta investigación consistió en un muestreo de suelo, usando un muestreo simple aleatorio de una proporción de tamaño de muestra de una población finita, se tomaron 171 muestras de suelo en áreas utilizadas para el cultivo de papa, en cada sitio muestreado se tomaron las coordenadas referenciales con un sistema de localización global vía satélite con el fin de representar los sitios muestreados en mapas. El suelo colectado fue secado a temperatura ambiente por un período de ocho días.

En el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía se realizó la extracción y aislamiento de los nematodos utilizando la técnica de flotación de quistes de Fenwick modificado con flotación en acetona, los géneros de quistes colectados fueron determinados en base a parámetros básicos de su anatomía y morfología como la forma, color, presencia y forma del cono vulval y datos biométricos que se obtuvieron de montajes de fenestralias de los quistes.

Los géneros de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* determinados en los 171 sitios muestreados fueron : **Punctodera** con incidencia de 31.5 % del total de sitios muestreados fue el que presentó mayor distribución y densidad, aunque es un género cuyas especies están relacionadas a las gramíneas principalmente, seguido por **Heterodera** con incidencia de 28.6 % que tiene un amplio rango de hospederos como cereales, crucíferas, leguminosas y solanáceas, **Globodera** con incidencia de 4 % y **Afenestrata** con 3 % ; en 56.7 % de los sitios muestreados no se encontraron quistes. Se finalizó con un bioensayo en el cual se inocularon quistes de los cuatro géneros determinados en macetas sembradas con papa los cuales no provocaron patogenicidad ni daño en las plantas de papa; y según los análisis morfométricos realizados en quistes del género **Globodera** se determinó por medio de la constante de Granek's que son afines a las especies que comprenden el complejo **G. tabacum**, descartándose así la presencia de **G. rostochiensis** en el municipio de Patzicía, Chimaltenango.

1. INTRODUCCION

El cultivo de la papa **Solanum tuberosum L.** posee a nivel mundial una gran importancia debido a que es un producto alimenticio de gran consumo a nivel industrial y uso doméstico.

Aunque las áreas de cultivo de papa se han mantenido durante los últimos cinco años, los niveles de producción han aumentado considerablemente; así como también los volúmenes de exportación hacia países como Honduras, El Salvador y Nicaragua.

Recientemente se realizaron detecciones de quistes de nematodos por parte de los servicios agrosanitarios de Honduras que hicieron suponer que la papa de Guatemala está infectada con el “nematodo dorado” **Globodera rostochiensis W.** , por lo cual cerraron temporalmente las fronteras a la importación de la papa guatemalteca, mientras que El Salvador y Nicaragua reciben el producto bajo estrictas medidas sanitarias (29,32), lo que trae como consecuencia que los productores nacionales tengan pérdidas económicas .

Debido a que no hay plena certeza de la existencia de **Globodera rostochiensis W.** en el país, se realiza una investigación de la situación actual de las áreas productoras de papa; existe un estudio exploratorio de reconocimiento de nematodos de quiste en Guatemala que se realizó en áreas de cultivo de ingerencia del ICTA de varios departamentos del altiplano occidental en el año de 1,979 en el cual se encontró quistes de **G. punctata**, **G. virginiae** y **G. pallida** no así de **G. rostochiensis W.** (12).

En la presente investigación se realizaron los procedimientos de muestreo en las áreas cultivadas con papa, procesamiento de muestras de suelo y análisis de los nematodos de quiste recolectados en la fase de laboratorio, así también la realización de bioensayos con plantas de papa, por lo que se determinó la presencia de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae*, los géneros **Punctodera**, **Heterodera**, **Globodera** y **Afenestrata** en las áreas cultivadas con papa los cuales no provocan patogenicidad ni daño a este cultivo en el municipio de Patzicía, Chimaltenango.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La papa es afectada por plagas del suelo, entre estas los nematodos que causan daño a la plantación y pérdidas económicas al agricultor debido a la reducción del rendimiento por área cultivada. Parte de la papa producida en Guatemala se consume en el mercado interno y otra es exportada hacia países como Honduras, El Salvador, Nicaragua y el sur de México generando cerca de \$ 4,047,570 dólares para el año 2,001 (27). Según datos estimados del Banco de Guatemala y de la Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación, 19.4 miles de hectáreas se cosecharon en el año 2,001 (27).

Dentro de las nematodos que afectan a la papa, los de la subfamilia *Heteroderinae*, son un grupo importante y poco estudiado en Guatemala ya que entre las especies que agrupa están **Globodera rostochiensis W.** y **Globodera pallida**; la importancia de los mismos se debe a su virulencia y daño que provocan en las plantaciones y su erradicación es casi imposible (31), por lo que muchos países lo tienen cuarentenado.

Según información pública presentada en diarios nacionales en los meses de Diciembre del 2,001 y Abril del 2,002 se da a conocer por parte de el gobierno hondureño que se cierran las fronteras de ese país para el ingreso de papa proveniente de Guatemala por la posible presencia del nematodo dorado de la papa detectado por ese país el cual no fue confirmado (29, 32).

Esto trae como consecuencia negativa que los productores de papa se les impide comercializar su producto porque no existe certeza de que las áreas cultivadas de Guatemala estén libres del nematodo dorado, por lo que es de importancia nacional realizar un estudio dirigido a determinar qué nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* están presentes en las áreas productoras de papa y si se encuentra el nematodo dorado en el municipio de Patzicía, ya que esto permitiría declararla como área libre del nematodo dorado, y así exportar sin ningún problema.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 ORIGEN DEL CULTIVO DE LA PAPA

La papa es originaria de la región andina de Sudamérica, en las altas mesetas de la cordillera de los Andes. También existen centros secundarios en algunas áreas de mesoamérica (México y Guatemala) (5). Según Henkes y Dunn (1981) las primeras siembras estuvieron cercanas a las orillas del lago Titicaca, entre las fronteras de Perú y Bolivia (21, 33).

A partir de Sudamérica se diseminó la siembra a casi todo el mundo; en Europa se introdujo esta, hacia el año de 1,570 donde en esa época no fue muy bien aceptada. Actualmente su consumo forma parte de la dieta de varios países alrededor del mundo (21).

En la antigüedad se creía que este cultivo sólo era fuente de carbohidratos, lo que en cierta forma le creó fama de ser un alimento para engordar, se ha demostrado que la papa es completa y que provee además de carbohidratos, vitaminas, proteínas y minerales (5).

La papa comprende un complejo de especies diploides, triploides y tetraploides. En estado de cultivo se conocen más de 5,000 cultivares que crecen a nivel mundial y muchos más que crecen en forma silvestre o que existieron anteriormente. Los tetraploides son los más usados a nivel mundial, los cuales son clasificados en dos grupos : uno el cv. Andigena (**S. tuberosum subsp. Andigena** Hawkes) y el cv. Tuberosum (**S. Tuberosum subsp. Tuberosum** Hawkes) (4).

3.1.2 DATOS GENERALES DEL CULTIVO DE LA PAPA

La papa posee las siguientes características botánicas y fisiológicas (ver fig 1) : posee tallos aéreos y subterráneos , los tallos aéreos son llenos y angulosos con coloración verde púrpura, posee hojas pinaticompuestas en espiral ; cuando las condiciones climáticas son con tendencias a la humedad las hojas son anchas; los tallos subterráneos son estolones y tubérculos (20, 24).

Cada tubérculo posee yemas terminales y laterales conocidos como “ojos”, las terminales brotan primero, pero cortando el tubérculo por la mitad se rompe la dominancia apical, así como suprimiendo los primeros brotes.

De acuerdo a la variedad los tubérculos toman diferentes formas, tamaño y color , la formación de los tubérculos se da cuando la planta alcanza una altura de 25 cm. o sea 5 ó 6 semanas de haberla sembrado y están listas para cosecharse a los 90 o 100 días, según la variedad.

Las flores nacen en racimo en el extremo de los tallos, son perfectas, color blanco, amarillo, púrpura o veteadas. La inflorescencia es cimosa, flores bisexuales, actinomorfas, cáliz con 5 sépalos unidos, corola de 5 pétalos unidos, rotados; *Androceo* de 5 estambres, insertos en el tubo de la corola y alternos con sus lóbulos; *Gineceo* constituido por un pistilo compuesto de 2 carpelos, con 2 lóculos, óvulos numerosos, placentación axilar, ovario súpero, estilo terminal (24, 33). El fruto es una baya redonda, las semillas poseen un embrión curvo o recto dentro de un espermo, de sabor desagradable y probablemente venenosa, con semillas fértiles, pero que no se emplean para la propagación, excepto cuando se desea obtener nuevas variedades.

La formación del tubérculo no depende de la floración, pueden formarse sin que exista la presencia de ninguna flor, la remoción de flores estimula la formación de tubérculos (33). La clasificación taxonómica de la papa se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la papa (24)

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliópsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanáceae
Género	Solanum
Especie	<i>Solanum tuberosum</i> L.

3.1.3 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA PAPA EN GUATEMALA

La papa en Guatemala está caracterizada como una hortaliza, es un cultivo muy importante para los medianos y pequeños agricultores de subsistencia, ha adquirido importancia por existir dentro del territorio excelentes condiciones de clima y suelo, principalmente en el altiplano occidental y regiones altas del centro y sur oriente del país (5).

En Guatemala este cultivo ha adquirido mucha importancia en los últimos años; se produce principalmente en las regiones de los altiplanos del país en los departamentos tales como Huehuetenango, Quetzaltenango, San Marcos, Sololá, Chimaltenango, Guatemala y Jalapa (5). En la región de Chimaltenango son frecuentes 2 épocas de siembra, la de “primera” en mayo y junio como se muestra en la figura 3, y la de “segunda” en agosto y septiembre. En Patzicía algunos agricultores realizan la siembra en marzo, pero el riesgo es grande respecto a los bajos rendimientos debido a la escasa humedad del suelo y el ataque de plagas como la polilla (13).

El principal mercado de papa de nuestro país lo constituyen el Salvador, Nicaragua y Honduras, como mercados potenciales esta el sur de México, Belice y países caribeños, tanto de papa para consumo como para semilla (13, 33).

En nuestro país se han realizado investigaciones y estudios para mejorar las condiciones del cultivo de la papa por parte de instituciones como el ICTA y privadas, las cuales conceden importancia a la investigación tecnológica tendiente a incrementar la productividad mediante la evaluación de nuevas variedades resistentes a plagas y enfermedades (13).

Según datos estimados del Banco de Guatemala y la Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación –USPADA-, la producción y comercialización de la papa en el territorio nacional a mantenido los siguientes valores en los últimos 7 años (ver cuadro 2) :

Cuadro 2. Producción y comercialización de la papa en Guatemala (1995-2001)

Año*	Área cosechada (miles de Manzanas)	Producción** (miles de quintales)	Rendimiento (quintales por manzanas)	Importación 1/		Exportación 1/		
				Miles de quintales	Miles de US dólares	Miles de quintales	Miles de US dólares	Precio Medio \$/qq
1995	13,2	4.158,0	315,0	3,2	212,3	534,6	1.378,5	2,6
1996	13,2	4.210,8	319,0	2,5	268,0	671,0	1.251,6	1,9
1997	13,3	4.295,0	322,9	6,6	215,3	687,2	2.155,2	3,1
1998	13,5	4.380,9	324,5	7,6	174,9	602,1	2.598,3	4,3
1999	13,5	4.424,7	327,8	8,1	b/ 207,5	676,9	3.561,9	5,3
A								
2000 /	13,5	4.420,0	327,4	7,9	a/ 203,6	691,7	3804,35	5,5
A								
2001 /	13,6	4450,0	335,4	7,70	a/ 200	710,1	4047,57	5,7

1/ Partida SAC 07-01-90-00.

A/ Cifras estimadas.

B/ Cifras a noviembre.

FUENTE: Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación -USPADA- (1984 - 1992) y Banco de Guatemala.

* Se incluye hasta 30/06/01

** No es posible dividir Producto para Semilla y para Consumo en Fresco.

Como puede observarse en este cuadro, las exportaciones han aumentado rápidamente, generando un estimado de 4,057,570 de US dólares al país, con áreas de producción que han variado levemente en el transcurso de los años. Se puede observar que el precio medio estimado del quintal de papa a aumentado levemente, en estos últimos 3 años reportados (27).

La papa posee un alto contenido de proteínas y carbohidratos que la hacen un alimento muy nutritivo, se utiliza como alimento humano y animal; su valor biológico en proteínas es un tanto inferior al de la carne, pero es superior a la proteína de la avena, trigo y las verduras, además por área produce más alimento que cultivos como el maíz, frijol y otros (8,10).

La composición química de la papa es variable dependiendo de las condiciones climáticas, fertilización, variedad, almacenamiento y todas aquellas condiciones que favorezcan la formación de un buen tubérculo. En base al peso fresco, los principales componentes de la papa se muestran en el cuadro 3 .

Cuadro 3. Composición química de la papa (8)

Componente	Gr/100 gr de peso fresco
Agua	77.4
Carbohidratos totales	17.4
Proteína	2.7
Grasas	0.1
Calcio (mg. / 100 g)	14.7
Fósforo (mg. / 100 g)	89.0
Hierro (mcg / 100 g)	0.8
Tiamina (mcg / 100 g)	52.6
Niacina (mg / 100 g)	1.4
Vitamina C (mg / 100 g)	21.4
Fibra cruda	0.6
Riboflavina (mcg/100 g)	33.7
Sólidos totales	22.6
Cenizas (g)	0.9

Figura 1. Morfología de una planta de papa (*Solanum tuberosum* L.)(4)

3.1.4 VARIEDADES MAS IMPORTANTES UTILIZADAS EN GUATEMALA

La papa se cultiva en casi todo el altiplano occidental, parte del altiplano central, tanto en la parte baja (1,500 a 2,600 msnm) como en la parte alta (2,600 a 3,200 msnm), y altiplano sur oriental.

A) Variedades recomendadas para la parte baja (1,500 a 2,600 msnm) :

- a. TOLLOCAN : Variedad originaria de México, su adaptación se da entre los 1,800 a 2,500 msnm, alcanza una altura de 75 a 95 cms, los tallos son erectos, flores color morado, la forma del tubérculo es alargado, su piel es crema, el follaje es verde oscuro, su ciclo es de 90 a 100 días. El rendimiento por cuerda es de 20 a 25 quintales (13, 33).
- b. ICTA CHIQUIRICHAPA : Es originaria del Perú, su adaptación se da entre los 2,400 a 2,800 msnm, su altura va de 60 a 80 cm, posee tallos erectos y fuertes, flores color morado, el tubérculo es ovalado, su ciclo es de 90 a 100 días. Susceptible al tizón tardío. El rendimiento por cuerda es de 15 a 20 quintales (13, 33).
- c. LOMAN : Es originaria del Perú, su adaptación se da entre los 1,700 a 2,500 msnm. Alcanza una altura de 60 a 70 cm, los tallos son erectos al inicio, rastreros al final, por lo regular no florea, su tubérculo es oblongo alargado terminado en punta, el color de su piel es crema, su ciclo va de 70 a 90 días. Es susceptible al tizón tardío. El rendimiento por cuerda es de 15 a 20 quintales (13, 33).
- d. ATZIMBA : Esta variedad alcanza una altura de 70 a 90 cm, sus tallos son erectos y las flores son blancas, su tubérculo es redondo, el color de su piel es crema y su ciclo es de 90 días, posee alguna resistencia al tizón tardío (13, 33).

3.1.5 ZONAS PRODUCTORAS DE PAPA EN GUATEMALA

Las áreas óptimas para el cultivo de la papa como se muestra en la figura 2, se determinaron con base en las condiciones bioclimáticas de las regiones, atendiendo las necesidades del cultivo. Estas regiones involucran a los departamentos de (ver cuadro 4) :

Huehuetenango

San Marcos

Quetzaltenango

Sololá

Chimaltenango

Sacatepéquez

Quiché

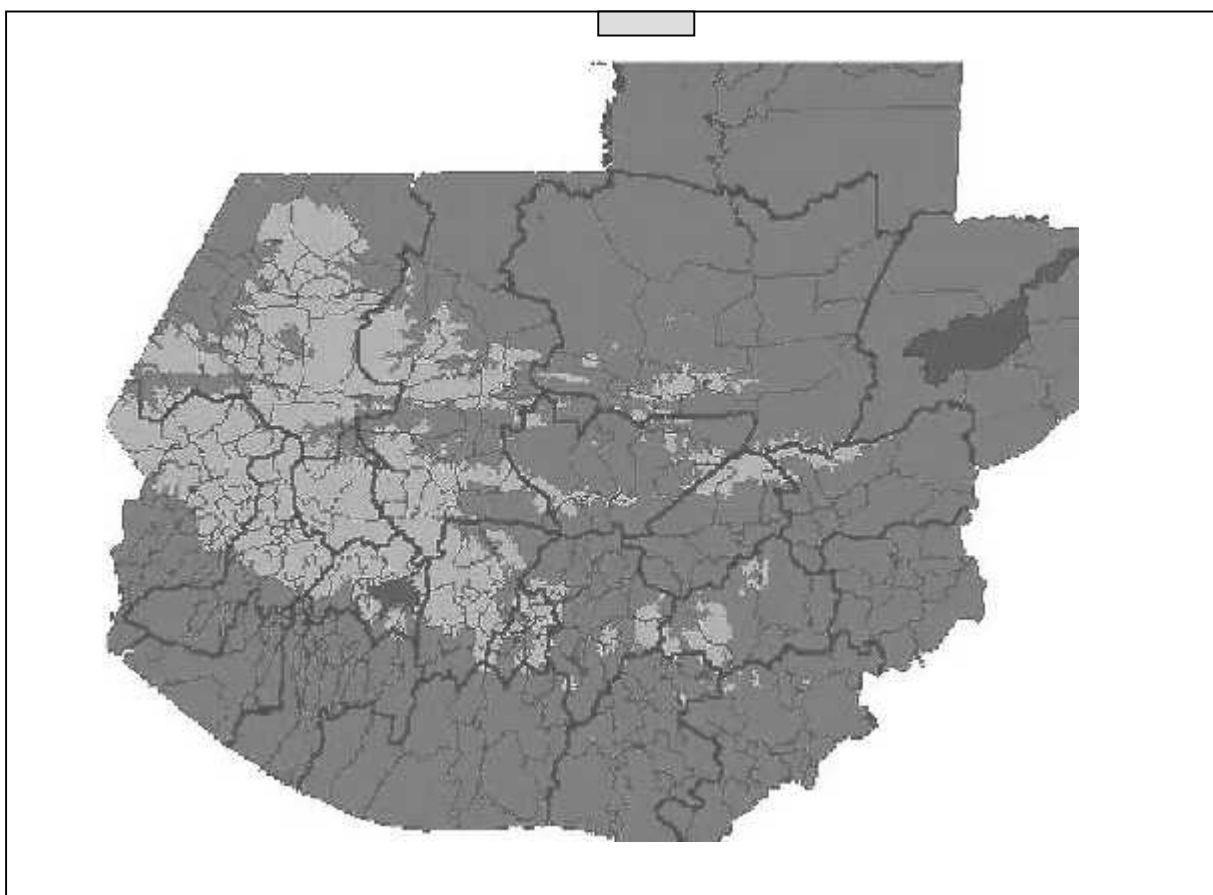
Totonicapán

Guatemala

Alta Verapaz

Baja Verapaz

Jalapa



Fuente: MAGA/ESPREDE-Aptitud/7-11-01; Sistema de Vigilancia Fitosanitaria

Figura 2. Áreas óptimas para el cultivo de la papa en Guatemala.

Alta Verapaz	Tactic	San Juan, Aguacatillo, Pasmolón, Cuyquel, La Esperanza, Chacalté, Rio Frio, Challi, Tampo, Chisac, Chamaoj, Platero	73	36.794	Febrero-Mayo		
	Santa Cruz Verapaz	Santa Elena, Chitúl, Chijou, Panquijou, Chisacsí, Chixajau, La Isla, San Rafael-Chilocom, Rio Frio, Valparaíso, Parrochoch, Acamal, Panbach	81	40.950	Febrero-Mayo		
	Cobán	Tomtem	41	20.807	Febrero-Mayo		
San Marcos	San Vicente Pacaya		18	520	Feb-May y Sept-Dic		
	Sololá	Sololá	500	204.400	Feb-Jun y Sept-Oct.	x	
	San José Chacayá		35	13.608	Feb-Abr. Y May-Jun	x	
	San Andrés Semetabaj		52	14.560	Ag.-Sept.		x
	Concepción		5	1.750	Ag.-Sept.		x
	Santa Lucía Utatlán		17	4.284	Ag-Sept		x
	Santa Catarina Ixtahuacán		12	3.168	Mar-Abr.	x	
	San Antonio Palopó		12	3.960	Jul-Ag.		x
	Santa Cruz La Laguna		5	1.320	Jul-Ag.		x
	Nahualá		4	1.056	Mar-Abr.	x	
	Santa María Visitación		3	792	Jul-Ag.		x
Guatemala	San José Pinula	San Xin, Socorro, La Joya, El Carmen, Rio Frío, Cruz Alta, El Colorado, Las Nubes	224	107.800	En-Feb, Junio-Jul y Dic.	x	
Departamento	Municipio	Aldea	Area Cultivada Has.	Producción qq	Epoca de Cosecha	Riego	
						Sí	No
	Palencia	Pie del Cerro, Plan Grande, San Guayabaj, La Joya y Concepción	805	373.800	En-Feb, May-Junio y Dic.	x	
Chimaltenango	Santa Apolonia		190	50.247	Julio y Diciembre		
	Tecpán		323	130.815	Julio y Diciembre		
	Patzún		168	68.040	Julio y Diciembre		
	Patzicia		343	139.914	Julio y Diciembre		
	Zaragoza		155	62.775	Julio y Diciembre		

Totonicapán	Totonicapán	Panquix, Pacapox, Rancho de Teja, Pachoc, Nimasac	8	2.600	Mar-Jun y Jun-Oct	x
	San Cristobal Totonicapán	La Ciénaga y Pacanac	3	1.300	Mar-Jun y Jun-Oct	x
	Momostenango	Xequemeyá San José Siguilá	4	1.700	Mar-Jun y Jun-Oct	x
	San Andrés Xecul	Palomora	2	900	Mar-Jun y Jun-Oct	x
	Santa María Chiquimula	El Rancho, Xesaná, Xebé, Casa Blanca, Carrillo, Xejurunjá	4	1.300	Mayo-Agosto	x
	Santa Lucía La Reforma	Arroyo Sacasiguán y San Luis Sibilá	3	4.100	Feb-May y May-Ag.	x
	Baja Verapaz	Salamá		120	53.239	Enero-Abríl
Rabinal			42	18.719	Mayo-Sept.	
Purulhá			235	102.613	Feb-Marzo y Agosto	
Jalapa	Jalapa		1.600	960.000	Septiembre-Febrero	
	Mataquescuintla		700	420.000	Septiembre-Febrero	

Fuente: MAGA/ESPRED- Aptitud/7-11-01; Sistema de Vigilancia Fitosanitaria-UNR



Figura 3. Campo de papa recién plantado en Chimaltenango (fotografía tomada en mayo 2002).

3.1.6 LOS NEMATODOS FITOPARASITOS

Los nematodos pertenecen al reino animal, en ocasiones denominados anguilulas, son organismos vermiformes, cilíndricos alargados que se mueven sobre superficies mojadas, alimentándose de células vivas. La mayoría de los varios miles de especies de nematodos viven libremente en gran número en aguas saladas, dulces o en el suelo alimentándose de plantas y animales microscópicos. Numerosas especies de ellos atacan y parasita al hombre y animales en los que producen enfermedades (1). Sobre mas de 12,000 especies conocidas, 1,500 son fitófagas de las cuales algunas decenas son fitoparásitas de real importancia económica en la agricultura (40).

3.1.6.1 Características morfológicas y anatómicas

A. MORFOLOGIA

Los nematodos fitoparasíticos son pequeños organismos de 300 a 1000 μm que viven en el suelo, su diámetro pequeño entre 15 a 35 μm hace que no sean observables a simple vista . Los nematodos tienen en general, forma de anguila y en corte transversal se ven redondos , presentan cuerpos lisos no segmentados y carecen de patas u otros apéndices; sin embargo, las hembras de algunas especies se hinchan en la madurez y adquieren la forma de pera o cuerpos esferoides (1).

B. ANATOMIA

El cuerpo de un nematodo es simple y mas o menos transparente, posee una pared fuerte que consta de una cutícula, hipodermis y una capa muscular, la cutícula es incolora formada de proteínas secretadas por la hipodermis, que a menudo poseen estrías u otros detalles, esta despliega la muda a través de sus distintas etapas larvarias sucesivas (1). Esta cutícula se produce en la hipodermis que consta de células vivas que se extiende en la cavidad del cuerpo a manera de 4 cordones que separan 4 bandas de músculos longitudinales, que permiten el movimiento del nematodo (41).

A través de la cavidad del cuerpo fluye un liquido por el cual se efectúa la circulación y respiración del nematodo. El sistema digestivo esta formado por un tubo hueco que se extiende desde la boca pasando por el esófago hasta el intestino, recto y ano. Por lo regular

existen seis labios que rodean la boca. Los nematodos fitoparasíticos poseen un “estilete” hueco o lanza que utilizan para perforar las células vegetales. El sistema nervioso consiste de un número limitado de células nerviosas agrupadas en la parte anterior y posterior, las fibras nerviosas se extienden a lo largo de la pared del cuerpo. Los nematodos también poseen órganos sensoriales especializados a lo largo del estoma y en varios puntos del cuerpo (43).

Los sistemas reproductores están bien desarrollados, las hembras poseen uno a dos ovarios seguidos por un oviducto y un útero que termina en la vulva. El macho posee un testículo, una vesícula seminal y termina en un orificio común con el intestino; existe un par de espículas copulatorias que sobresalen. La reproducción se efectúa por medio de huevecillos y puede ser sexual, hermafrodita o partenogenética, en muchas especies faltan los individuos machos (1).

3.1.6.2 Biología y ciclo de vida

Muchas especies de nematodos fitoparasíticos poseen un simple ciclo de vida, que consiste en huevo, cuatro juveniles (se refiere a ellos como JI, JII, JIII y JIV) y el estado adulto. El desarrollo del primer estado juvenil ocurre dentro del huevo, cuando la primer muda ocurre; en el segundo estado juvenil sale del huevo para buscar e infectar las raíces de las plantas, alimentándose de los fluidos de las células y en algunos casos del tejido foliar, en este estado juvenil pocas especies causan daños severos. La búsqueda de hospederos o su movimiento en el suelo ocurre aun con una pequeña lamina de agua sobre las partículas de suelo o que este sobre la superficie de las raíces (40).

Dependiendo de la especie, la alimentación ocurre a lo largo de toda la superficie de la raíz o como en otras especies que forman agallas, los estados juveniles jóvenes invaden el tejido de la raíz, estableciéndose dentro y alimentándose de los sitios de alrededor. A partir del segundo estado juvenil el nematodo mudara tres veces, hasta ser un adulto (43). En varias especies de nematodos, la hembra produce de 50 a 100 huevos, y en otros casos como los nematodos formadores de agallas, mas de 2,000 huevos. Bajo las mejores condiciones del ambiente, los huevos eclosionan y el nematodo emerge para completar su ciclo de vida de 4 a 8 semanas dependiendo de la temperatura. Generalmente existe un mayor desarrollo de los nematodos a temperaturas óptimas del suelo en un rango de 21 a 27 °C (35).

3.1.6.3 Ecología y distribución

Los nematodos para vivir dependen de una serie de condiciones principalmente de humedad, disponibilidad de alimento y oxígeno, los nematodos se concentran principalmente en la zona arable que puede variar entre los 0 a 20 cm de profundidad, se pueden hallar hasta los 50 cm si existieran raíces en esa zona del suelo (41).

La mayor parte de los nematodos viven en el suelo, alimentándose superficialmente de las raíces y tallos subterráneos de las plantas. Una concentración alta de nematodos en las raíces se debe a la reproducción rápida cuando el alimento es abundante y a las sustancias liberadas en la rizósfera. El efecto del factor de incubación de las sustancias originadas en la raíz y que se difunden alrededor del suelo, estimula la incubación de huevos de ciertas especies (1, 40).

La distribución en el suelo, de los nemátodos esta regida por su propia capacidad, no logra recorrer mas de un metro de distancia, con mayor rapidez en películas delgadas de agua. A través del equipo agrícola, la irrigación, el agua inundada o de drenaje, patas de animales, semillas infectadas, plantas de viveros, y otros es como logra dispersarse a través de grandes distancias los nematodos (1).

3.1.6.4 Consideraciones para que un nematodo sea parásito

Un nematodo para ser considerado parásito debe reunir ciertas condiciones: (1)

- A. *Que este morfológicamente adaptado al parasitismo de plantas (presencia de estomatoestilete, odontoestilete u onchioestilete y el tipo de esófago por su actividad enzimática).*
- B. *Que el nematodo se alimente de las plantas con una acción continua de su estilete, ya que puede alimentarse ocasionalmente y no ser parásito de plantas.*
- C. *Que el nematodo se reproduzca en la planta o en su rizósfera, esta es la condición más importante.*

3.1.6.5 Síntomas y daños que provocan los nematodos a las plantas

No existe una sintomatología típica del parasitismo por nematodos, salvo excepciones como los engrosamientos radiculares en plantas sensibles producidas por **Meloidogyne**, las deformaciones de bulbos por **Ditylenchus**, presencia de quistes por **Heterodera** y otros (40).

La mayoría de los daños parece ser ocasionados por una secreción de saliva que el nematodo inyecta en la planta al alimentarse. En otras especies la alimentación es más lenta, y en ocasiones permanecen por horas o días en la misma posición; estas especies así como las hembras que se establecen dentro o sobre las raíces, son las que causan mayores daños.

El problema que causan los nematodos en la agricultura, generalmente se presenta como una disfunción de las raíces, una reducción del volumen de éstas y de la parte aérea de la planta, la disminución de la absorción eficiente de agua y nutrientes (40). Por lo general un ataque de nematodos produce un debilitamiento de la planta afectada que se manifiesta por un menor desarrollo, carencias minerales, retraso en la brotación, tamaño reducido de hojas y frutos, disminución en la productividad etc, sintomatología que también puede obedecer a diferentes causas relacionadas con un inadecuado régimen de cultivo, condiciones ecológicas adversas, debilitamiento por plagas y enfermedades entre otras (40,41).

La alimentación de los nematodos, provocan que las células reaccionen causando muerte o el debilitamiento de las yemas y puntas de la raíz, la formación de lesiones y la degradación de los tejidos, hinchamientos y agallas de varias clases, tallos y follaje retorcido y deformado. Estos síntomas pueden deberse tanto a la disolución de los tejidos infectados por las enzimas, produciendo la muerte de células y se desintegren los tejidos o bien al alargamiento anormal de las células (hipertrofia), cese de división celular o la estimulación para la formación de gran cantidad de raíces laterales en o cerca al punto de infección (1).

En algunos casos, con las interacciones bioquímicas entre la planta y el nematodo las que afectan negativamente la fisiología total de las plantas y la función de los nematodos de proporcionar los puntos de entrada para otros patógenos (1).

Los nematodos fitoparásitos producen 3 tipos de daños; unos **mecánicos** al perforar las membranas celulares con el estilete, daños **químicos** al inyectar toxinas que facilitan la asimilación de jugos celulares, y finalmente como **vectores** de virosis o enfermedades fungosas y bacterianas (40). Los eventos del parasitismo ocurren de la siguiente forma :

- a. Los nematodos efectúan un daño mecánico al introducir el estilete en el tejido depositando con anterioridad sustancias que ablandan el tejido.
- b. El nematodo inyecta sustancias (enzimas) para preparar el tejido y poder chupar el contenido celular.
- c. La planta reacciona al estímulo de penetración del estilete y preparación del tejido causando muerte de células, pudrición , nódulos, etc.

Los nematodos fitoparásitos se clasifican según su nivel de parasitismo de la siguiente forma (10):

A. Ectoparásitos : Son nematodos que permanecen afuera de la planta penetrando únicamente una pequeña porción de sus cuerpos.

- a. Tejidos superficiales : **Trichodorus, Paratylenchus, Tylenchus, Tylenchorhynchus.**
- b. Tejidos subsuperficiales : **Belonolaimus, Hoplolaimus, Longidorus, Xiphinema, Rotylenchus.**

B. Endoparásitos : Son nematodos que entran en los tejidos vegetales completamente o una larga porción de sus cuerpos.

- a. Migratorios en plantas herbáceas : **Radopholus** y **Pratylenchus** en raíces; **Ditylenchus** en tallos y hojas; **Aphelenchoides** y **Anguina** en yemas y hojas.
- b. Migratorios en árboles : **Rhadinaphelenchus** y **Bursaphelenchus.**
- c. Sedentarios : **Tylenchulus** y **Rotylenchulus** parcialmente dentro de las raíces; **Heterodera, Nacobbus** y **Meloidogyne** enteramente dentro de las raíces.

3.1.6.6 NEMATODO DE QUISTE DE LA PAPA

Entre los parásitos de la papa (figura 4), los nematodos juegan un papel muy importante en muchos países. Setenta especies de nematodos han sido señaladas en este cultivo (23). Sin embargo, los formadores de quistes, **Globodera rostochiensis** y **G. pallida**, son considerados los más dañinos y afectan el rendimiento de este cultivo en la mayoría de las zonas paperas del mundo (14); debido a la coloración amarilla de las hembras, **G. rostochiensis** se conoce también como el **nematodo dorado de la papa**.

Este nematodo se ha reportado en las áreas sembradas con papa en países como Gran Bretaña, Norte y Sur América, Europa, Islandia, India, oeste de Rusia, y Sudáfrica. Los hospedantes de este nematodo de mayor importancia son la papa y el tomate, y la maleza del hemisferio norte conocida con **Datura stramonium L.** Se considera que estos nematodos son originarios de las regiones andinas de Perú, Bolivia y Argentina (38). Sin embargo, estudios recientes de ADN ribosomal, hacen pensar que el centro de origen sea más bien México (11). Es importante señalar, que **Globodera rostochiensis** fue detectado por primera vez en Alemania en el año 1881 y descrito en 1923 por Wollenweber, a partir de una población colectada en Rostok.

En 1973, Stone, observó la existencia de poblaciones del nematodo cuyas hembras no presentaban la coloración amarilla y, basándose en características morfométricas de los estados juveniles y la cromogénesis de las hembras, describió a estas poblaciones como *Heterodera* (= *Globodera*) *pallida*, nueva especie de nematodo quiste de la papa (39), posteriormente los nematodos formadores de quistes fueron agrupados en seis géneros incluyendo en el género *Globodera*, a las especies con quistes esféricos como eran **G. rostochiensis** y **G. pallida**.



Figura 4. Quistes de *Globodera rostochiensis* parasitando raíces de papa (31).

3.1.7 NEMATODOS DE LA SUB FAMILIA HETERODERINAE

3.1.7.1 Historia y clasificación taxonómica

El término “Heterodera” fue introducido por Schmidt en 1,851 e incluyó en el a nematodos del tipo *schachtii*, en el período comprendido entre 1,871 y 1,949 se distinguieron nuevas variedades, especies y subespecies de Heterodera, así como cierto rango de hospederos, pero su posición taxonómica seguía siendo dudosa (41). Hasta 1,940 Franklin hizo una revisión de las llamadas razas biológicas de **Heterodera shachtii**, y reconoció 5 diferentes especies : **H. shachtii** Schmidt 1871, **H. goettingiana** Liebscher 1892, **H. punctata** Thorne 1928, **H. avenae** Wollenweber 1924, y **H. rostochiensis** Wollenweber 1923. A partir de entonces el número de especies de *Heterodera* se ha incrementado basándose su clasificación en caracteres diferenciales como la morfología de los quistes adultos, modelos vulvares, características del segundo estado juvenil principalmente. Con el paso de los años se hizo una división y se formaron 2 grupos : *los citrifomes*, cuyas hembras presentan la ubicación de la vulva en una protuberancia cónica llamada cono vulvar entre estos se encerró el subgénero *Heterodera*, y *los esféricos y piriformes*, cuyas hembras poseen la vulva en el contorno del quiste los cuales se agruparon como el subgénero *Globodera* (12).

En 1,977 Stone hace referencia a más de 70 especies de nematodos de quiste descritos, algunos sinónimos no resueltos y varias especies en investigación con una descripción inadecuada que no permite una distinción confiable, de manera que los parámetros para distinguir una especie de otra son cada vez más sofisticados, a la vez que aumentan en número, debido al problema que representa la identificación específica.

Otro de los parámetros utilizados para la identificación de las especies es el *color* de los quistes, el cual es muy importante para diferenciar hembras en desarrollo que van de coloraciones blanca a castaño, donde únicamente en las hembras del “nematodo dorado de la papa” manifiestan un color amarillo dorado. El tamaño del quiste en ocasiones ha sido utilizado como parámetro diferencial pero es influenciado por el ambiente y se debe tener precaución. Los caracteres cuticulares son también utilizados, en **G. rostochiensis** se encuentran estrías en forma de zig zag (12).

La utilización de datos biométricos para la agrupación taxonómica y las medidas más usadas son : **la longitud y ancho de fenestra, distancia entre vulva y ano**, y el **índice de Granek**, usado especialmente para diferenciar especies de **Globodera pallida** y **G. rostochiensis** (12).

Según Sidiqqi *et al.* la clasificación taxonómica del grupo de los nematodos de quiste se describe de la siguiente manera (4) :

Phyllum:	Nematoda
Clase:	Secernentea
Subclase:	Diplogasteria
Orden:	Tylenchida
Suborden:	Tylenchina
Súper familia:	Heteroderoidea
Familia:	Heteroderidae
Sub familia:	Heteroderinae
Géneros:	

Heterodera Schmidt, 1871

Afenestrata Baldwin & Bell, 1985

Cactodera Krall & Krall, 1978

Dolichodera Mulvey & Ebsary, 1980

Globodera Skarbilovich, 1959

Punctodera Mulvey & Stone, 1976

La clave utilizada para determinar las subfamilias de la familia *Heteroderidae* se describe a continuación (36) :

1. Vulva ecuatorial; el desarrollo del macho no es por metamorfosis **Meloidoderinae**
 Vulva terminal o subterminal; el desarrollo del macho es por metamorfosis **2**
2. La hembra se transforma en quiste endurecido **Heteroderinae**
 La hembra no se transforma en quiste endurecido **Ataloderinae**

3.1.7.2 Descripción de la sub familia *Heteroderinae* y sus géneros

Hembras maduras de forma esférica, de pera o con de aspecto de limón con un cuello corto, que se tornan duras, fuertes, amarillentas, formando quistes de color claro a un marrón oscuro o negro, que contienen huevos y estados juveniles, algunos huevos se encuentran inmersos en una matriz gelatinosa. La superficie de la cutícula posee un patrón en zig-zag o parecido a un encaje. La vulva y ano se encuentren cerca uno de otro, casi en la parte terminal, en un relieve vulval cónico o en uno plano o cóncavo. Presente una fenestra vulval clara; solo en *Punctodera* se encuentra presente una fenestra anal. Los machos se desarrollan a través de metamorfosis, poseen una región cefálica anillada, cuatro incisuras en la región lateral y una cola semiesférica muy corta, raramente la cola esta ausente. Bursa ausente (36). La clave utilizada para determinar los géneros de la subfamilia *Heteroderinae* se describe a continuación (36):

1. Fenestra vulval ausente **Afenestrata**
 Fenestra vulval presente2
2. Cuerpo con cono terminal3
 Cuerpo sin cono terminal 4
3. Superficie cuticular con arrugas paralelas; denticulas vulvales presentes;
 Circumfenestrado **Cactodera**
 Superficie cuticular con arrugas en forma de encaje o zig-zag; denticulas
 vulvales generalmente ausentes, raramente circumfenestrado .. **Heterodera**
4. Región anal con fenestra **Punctodera**
 Región anal sin fenestra 5
5. Hembras maduras y quistes esferoides, tubérculos perineales presentes,
 Bullae usualmente ausente **Globodera**
 Hembras maduras y quistes oval-elongados, tubérculos perineales ausentes,
 Bullae presente **Dolichodera**

3.1.7.3 Ciclo Biológico de los nematodos de quiste

Todos los *nematodos de quiste* tienen básicamente el mismo ciclo de vida; durante su crecimiento y desarrollo los nematodos cumplen 5 estadios, de huevo a adulto, sucediéndose 4 mudas en el proceso.

La primera tiene lugar dentro del huevo, luego de eclosionar el nematodo del segundo estadio puede hallarse libre en el suelo, en la tercera muda los machos aumentan de grosor y se alargan, luego experimentan la cuarta y última muda, en el quinto estadio son mucho más largos que los otros géneros. En el caso de las hembras una vez pasadas la segunda y tercera mudas, engrosan hasta adquirir la forma esférica, al mismo tiempo experimentan la cuarta y última muda. Durante su desarrollo las hembras emergen a través de la superficie de la raíz quedando en su estado adulto completamente fuera de ellas y adheridas únicamente por la región elongada del cuello, posteriormente estas mueren y su cuerpo se endurece formando el llamado “quiste” que es una estructura de sobrevivencia a un ambiente adverso en el cual los huevos permanecen en dormancia y viables por varios años hasta que se da la estimulación apropiada como incrementos en la temperatura, hidratación o exudados químicos específicos de las raíces de plantas hospederas (3, 36, 41).

3.1.7.4 Historia del estudio de los nematodos de quiste

En 1,743 Needham reporta el primer nematodo fitoparásito (***Anguina tritici* Steinbuch** 1799) , atacando granos de trigo. Le sucedieron en el año de 1,850 los descubrimientos del nematodo nodulador del pepino (***Meloidogyne sp. Goeldi*** 1887) y el primer nematodo del quiste (***Heterodera schachtii* Schmidt** 1881), asociado a la remolacha azucarera en el cual estaba ocasionando grandes pérdidas en Alemania.

El hecho de haber sido descubierto en Alemania, llevó inherente el concepto de que era el continente europeo el lugar de origen de estos organismos, sin embargo, el descubrimiento en Estados Unidos del “nematodo dorado de la papa” en 1,941, y los estudios posteriores en ese país entre 1,945 a 1,955, incentivaron estudios relacionados a la determinación real del origen de este nematodo (12).

Siendo la papa originaria de la zona andina de América del sur, y América en general sumamente rica en plantas solanáceas (4), no es utópico pensar que fue América y no Europa el lugar de origen de este nematodo. Otra razón para pensar lo anterior es el hecho de que con los primeros envíos de papa a Europa en el siglo XVI es indudable que también se exportaron sus patógenos, luego algunos países europeos se convirtieron en proveedores importantes de semilla los cuales distribuyeron la misma y así también la plaga del nematodo por lo que la diseminación fue incontrolable (12).

La importancia económica de los nematodos del quiste está referida a las pérdidas ocasionadas a los cultivos como remolacha azucarera, papa y tomate (36).

3.1.7.5 Descripción de los géneros de la subfamilia Heteroderinae

A. Heterodera Schmidt, 1871

Las **hembras** maduras y quistes poseen forma de limón con un cuello corto y un cono terminal, los cuales se tornan duros y fuertes al convertirse en quiste, van del color café al oscuro con patrones cuticulares en forma de encaje o zig-zag. La capa D en la cutícula es rudimentaria o ausente, así también una capa subcristalina. La vulva es terminal; con una abertura de 10-60 μm de largo. El ano esta en la parte dorsal subterminal, cercano a la vulva. Posee fenestra vulval, ya sea ambifenestrada, bifenestrada o muy raramente circumfenestrada; la región anal no posee fenestra (36).

El resto de la vagina se localiza bajo un “puente” y a menudo con bullae. En el cuerpo son retenidos gran cantidad de huevos rodeados de una matriz gelatinosa. El **macho** posee regiones laterales con cuatro incisuras respectivamente, la región cefálica generalmente contrarrestada por una constricción, con 3 a 6 anillos, el final de la cola es curva. Posee espículas robustas, de unas 30 μm de largo. El **segundo estado juvenil** posee un cuerpo delgado recto o arqueado, la región cefálica es continua, disco labial indefinido, con un estilete con menos de 30 μm de largo, las glándulas esofágicas rellenan el ancho de la cavidad del cuerpo, la cola posee una parte terminal transparente y poseen fasmidias punctiformes (4, 36). En la alimentación inducen al sincitio celular. El género posee varias especies importantes :

- Heterodera schachtii** A. Schmidt, 1871
- H. arenaria** Cooper, 1955
- H. avenae** Wollenweber, 1924
- H. carotae** Jones, 1950
- H. cruciferae** Franklin, 1945
- H. cyperi** Golden, Rau & Cobb, 1962
- H. glycines** Ichinoe, 1952
- H. goettingiana** Liebscher, 1892
- H. humuli** Filipjev, 1934
- H. oryzae** Luc & Verdón Brizuela, 1961
- H. sacchari** Luc & Maerny, 1963
- H. trifolii** Goffart, 1932
- H. urticae** Cooper, 1955

a. RANGO DE HOSPEDEROS

Heterodera es un género de nematodos que probablemente son los más importantes atacando y dañando campos de cultivos en regiones con temperaturas frías del mundo así como lo hace **Meloidogyne** en los trópicos. De cualquier modo cerca de unas 24 especies de **Heterodera** se sabe que se encuentran actualmente en los trópicos, sus nombres comunes en muchas de las ocasiones sugieren su hospedero preferido. Por ejemplo **H. avenae**, **H. glycines**, **H. goettingiana**, **H. shachtii** y **H. trifolii** han sido llamados quistes del cereal, de la soya, del guisante, de la remolacha y del trébol respectivamente, atacan cultivos como las brassicas (4, 36).

Varias especies como lo son **H. glycines**, **H. shachtii** y **H. trifolii** son parásitos de plantas de las familias *Caryophyllaceae*, *Leguminosae* y *Polygonaceae*; otras especies parasitan plantas de *Gramineae*, **H. avenae** ataca a varios pastos de Europa, **H. oryzae** ataca al arroz, **H. sacchari** ataca a la caña de azúcar, **H. gambiensis**, **H. sorghi** y **H. zaeae** son parásitos del maíz.. Otras familias de plantas atacadas por este género de quistes son *Cruciferae*, *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*, *Labiatae*, *Portulacaceae*, *Fabaceae* y *Solanaceae* (4).

Especímenes típicos de **Heterodera** se encuentran entre los primeros 10-20 cm del suelo, las larvas en los quistes poseen una viabilidad unos 6 años (15 años máximo). Las larvas pueden permanecer hasta un año libremente en el suelo (9). La temperatura óptima para el desarrollo de estos nematodos es entre 21 – 27 °C, decreciendo sobre los 39 °C y bajo los 10 °C.

Etimología : Del griego *heteros* = otros, y *deras* = capa, piel, modificado por Smidth (1871) al latín por la hembra (referente a las diferentes “pieles” entre la hembra y el quiste) (36).

B. Afenestrata Baldwin & Bell, 1985

Las **hembras** son esféricas, subesféricas, al madurar poseen forma de limón con un cuello bastante corto; la cutícula es relativamente delgada, estriada o con un patrón parecido a encaje en su superficie, color café. No posee fenestra anal. La capa D está ausente. La vulva es terminal sobre un cono protuberante con labios prominentes, la abertura vulval se encuentra hundida. Si presenta estado de quiste sin fenestra vulval y bullae. Puente interno presente o ausente. El cuerpo del **macho** es curvado en la región posterior, con 4 incisuras en la regiones laterales, el estilete mide entre 24-28 µm de largo, posee espículas rectas dirigidas hacia atrás y un tubo cloacal, cola ausente y no se observan fasmidias. Los juveniles poseen estiles con menos de 30 µm de largo, las glándulas esofágicas rellenan el tubo del cuerpo, poseen fasmidias punctiformes. En la alimentación inducen al sincitio. Este género posee las siguientes especies :

Afenestrata africana (Luc, Germani & Netscher, 1973) Baldwin & Bell, 1985

A. axonopi Souza, 1996

A. bamboosi (Kaushal & Swarup, 1989)

A. orientalis Kazachenko, 1989

A. sacchari Kaushal & Swarup, 1989

El género **Afenestrata** fue descrito recientemente a partir del pasto **Panicum maximum** (importado de Kenya). **Afenestrata axonopi** parasita el pasto **Axonopus marginatus** en Brasil. Etimología : A= sin, y fenestrata = fenestra, esto se refiere a la ausencia del fenestra vulval (36).

C. **Punctodera Mulvey & Stone, 1976**

Las **hembras** presentan el estadio de quiste. Poseen cuerpo globoso, esférico o con forma de pera u ovalada con un cuello corto y no tienen cono terminal. Con cutícula densa cuya superficie posee un patrón reticulado, la subcutícula tiene puntuaciones; la capa D está presente así como una capa subcristalina gruesa. Los quistes varían del color café claro al oscuro. Poseen una vulva terminal, la abertura vulval mide menos de 5 μm , rodeada por una fenestra circular que mide 20 μm de diámetro, carece de papillas perineales, sin puente interno y bullae. El ano está rodeado por una fenestra de similar forma y tamaño que la fenestra vulval. Los huevos son retenidos en el cuerpo sin formar masas de éstos, los quistes contienen entre 70 a 228 huevos de forma suboval elongados. Los **machos** son vermiformes con menos de 1.5 mm de largo, las regiones laterales poseen 4 incisuras, las espículas miden entre 30 – 31 μm y son curvadas colocadas en el extremo posterior, sin tubo cloacal, la cola es corta y redondeada. Los **juveniles del segundo estadio** poseen cuerpo de unos 0.35 a 0.49 mm, el estilete mide menos de 30 μm , con una cola cónica y fasmidias punctiformes. Las glándulas esofágicas ocupan el ancho del cuerpo, en la alimentación provocan un sincitio (36). Este género comprende varias especies :

Punctodera punctata (Thorne, 1928) Mulvey & Stone, 1976

P. chalcoensis Stone, Sosa Moss & Mulvey, 1976

P. matadorensis Mulvey & Stone, 1976

Originalmente el género **Punctodera** fue descrito en trigo en Canadá. **Punctodera punctata** ha sido registrada en muchas especies de gramíneas, como lo es en trigo, avena, cebada, y muchos tipos de gramas de pradera como **Poa pratensis**, **Agrostis stolonifera**, **Lolium perenne**, **Festuca rubra** y otras, este nematodo ataca a las raíces principalmente en la etapa de crecimiento vegetativo. Este nematodo no provoca síntomas visibles en las plantas por lo que se sabe que existe por la presencia de los quistes, por lo que este género no es considerado como una plaga ya que no causa pérdidas económicas de importancia. Este nematodo es afectado por las sequías (4, 36).

Etimología: Para el epíteto específico se tomó en cuenta *punc* = la presencia de puntuaciones en la subcutícula y el griego *deras* = piel o capa (36).

D. Globodera Skarbilovich, 1959 (Behrens, 1975) = Heterodera (Globodera) Skarbilovich, 1959

Las **hembras** son esféricas y miden 500-600 μm de diámetro (38). Poseen un cuello corto, la región terminal del quiste no forma cono, el quiste es café y su superficie posee un patrón como encaje. Posee una cutícula gruesa y capa D, la vulva es terminal, la abertura vulval mide menos de 15 μm de largo, usualmente se ha perdido en quistes viejos, la fenestra vulval esta circumfenestrada, remanente de puente interno y bullae están ausentes, rudimentos raramente presentes. El ano se encuentra en la parte dorsal y es subterminal, se encuentra separado de la vulva por corta distancia. No existe fenestra anal. Los huevos son retenidos en el cuerpo de la hembra y no forman ningún tipo de masa (36). El tamaño de las hembras es afectado por el huésped y por el nivel poblacional del nematodo, siendo más pequeñas cuando la población es elevada o el huésped se encuentra fuertemente dañado.

En **G. rostochiensis** la hembra adulta adquiere una **coloración amarillenta**, luego se transforma en quiste. En comparación con la hembra madura, el quiste tiene una cutícula más gruesa y de color castaño oscuro para proteger los huevos contenidos como se muestra en la figura 5. Los huevos, al final del desarrollo embrionario, aproximadamente después de 2-3 semanas, contienen juveniles de segundo estado. En países de clima templado, al final del ciclo de la papa (otoño) la mayoría de los huevos permanecen en estado de latencia y eclosionan en la primavera siguiente (18). La hembra posee un aparato reproductivo muy desarrollado y después de ser fecundada produce gran cantidad de huevos (hasta 500) que retiene en el interior del cuerpo, cada huevo mide aproximadamente 40 x 80 μm .

El **macho** adulto es móvil y vermiforme, mide aproximadamente 1200 μm de largo y 28 μm de ancho. La parte posterior terminal es espiral, con una cutícula anillada, las regiones laterales poseen cuatro incisuras, posee espículas con mas de 30 μm de largo, la cola es corta y semiesférica. Su capacidad patogénica no ha sido demostrada. El segundo estado juvenil (j2) posee un disco labial subcircular, el estilete es menor de 30 μm de largo, la cola es cónica, punteada, y con fasmidias punctiformes. Inducen a la formación de sincitio. Este género posee varias especies (36) :

Globodera rostochiensis (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975

G. achilleae (Golden & Klindic, 1973) Behrens, 1975

G. artemisiae (Eroshenko & Kazachenko, 1972) Behrens, 1975

G. mirabilis (Kyr'yanova, 1971) Mulvey & Stone, 1976

G. pallida (Stone, 1973) Behrens, 1975

G. pseudorostochiensis (Kyr'yanova, 1963) Mulvey & Stone, 1976

G. tabacum solanacearum (Miller & Gray, 1972) Behrens, 1975

G. tabacum virginiae (Miller & Gray, 1968) Behrens, 1975

Investigaciones realizadas en los últimos 45 años han arrojado mucha información en cuanto a la distribución, biología, hospederos, interrelación entre hospedero y nematodo y control del nematodo dorado de la papa y la amenaza de este esta bajo control en Europa occidental y en los EEUU, mayormente debido a el estricto control fitosanitario y regulatorio del cultivo y su transporte. **Globodera solanacearum**, **G. tabacum** y **G. virginiae** descrito en los EEUU son similares al nematodo dorado de la papa en su morfología y hospederos, su distinción es dificultosa. Estas son consideradas como subespecies de **G. tabacum** que parasita al tabaco, tomate y otros. **Globodera millefolii** y **G. mirabilis** son sinónimos o lo pueden ser de **G. achilleae**. Así como **G. rostochiensis**, **G. tabacum** prefiere miembros de la familia *Solanaceae* (4, 36). Etimología : Del latin *globus* = globo, y del griego *deras* = piel, modificado al latin femenino como en *Heterodera* (36).

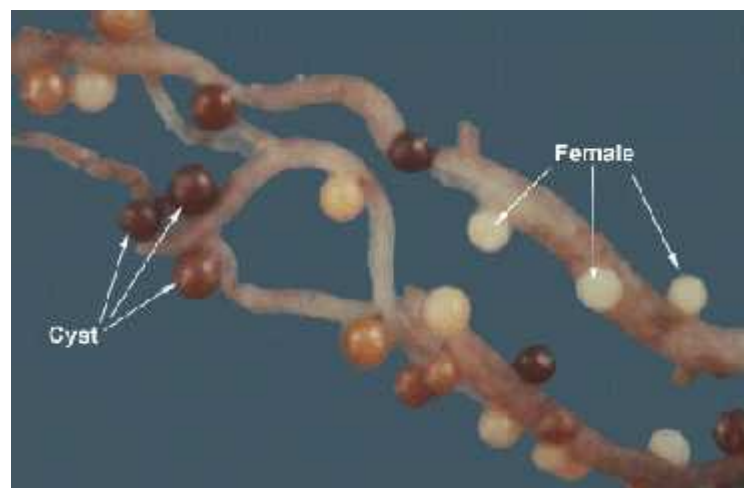


Figura 5. Hembras y quistes del género *Globodera* parasitando raíces (31).

3.1.7.6 Glosario anatómico de nematodos de quiste (4,36)

- A. **Ambifenestra** : Es un tipo de fenestra que se localiza sobre un puente vulval.
- B. **Bifenestra** : Es una fenestra separada que es mas o menos circular.
- C. **Bullae** : Son estructuras de remanentes musculares que se encuentran alrededor de la fenestra.
- D. **Circumfenestrado** : Es una fenestra conformada por un tejido delgado con apariencia de agujero en el cual la vulva se encuentra sin soporte de un puente vulval.
- E. **Citriforme** : Se refiere a los quistes que presentan forma de “limón”.
- F. **Cono vulval** : Es una protuberancia del cuerpo del quiste en la cual se encuentra la fenestra vulval, importante en la diferenciación de géneros de quistes.
- G. **Estrías cuticulares** : Es el conjunto de líneas que conforman el relieve de la superficie del quiste formando dos tipos de patrones : reticulado o encaje y paralelo.
- H. **Fenestra** : Es un área transparente o traslucida que rodea la abertura vulval utilizado para diferenciar especies de quistes.
- I. **Fenestra anal** : Es un área transparente que rodea al ano, característico del género **Punctodera**.
- J. **Granek (índice)** : Es la distancia del ano a la orilla cercana de la fenestra dividida entre el diámetro de la fenestra.
- K. **Matriz gelatinosa** : Es el material en el cual están embebidos los huevos de ciertos géneros de nematodos de quiste que permite su viabilidad ante condiciones adversas.
- L. **Piriforme** : Se refiere a los quistes que presentan forma de “pera”.
- M. **Quiste** : Es un estado de sobrevivencia y dormancia de ciertos nematodos en el cual la hembra muerta inflada ha endurecido su cuerpo y tiene como función proteger a los huevos contenidos dentro de ella hasta que las condiciones sean las favorables.
- N. **Sincitio** : Es el área de alimentación de los nematodos formada por la ruptura de las células adyacentes por las sustancias que inyecta el estilete por lo que las células engrosan sus paredes y su actividad metabólica aumenta provocando un desequilibrio causando la muerte de los órganos que conforman (raíces).

3.1.7.7 IDENTIFICACIÓN DEL NEMATODO DORADO DE LA PAPA

Aún cuando la coloración amarilla de las hembras indica claramente la presencia de **G. rostochiensis**, la ausencia de hembras con esta coloración en las raíces no garantiza que se trate de **G. pallida**, a menos que se observe el desarrollo del nematodo a lo largo de su ciclo biológico (bioensayo). La preparación de los cortes perineales de los quistes como se muestra en la figura 6, colectados en las raíces de la planta de papa, y el conteo de las estrías cuticulares presentes entre el ano y la vulva, constituye una manera simple de diferenciar las dos especies, **G. rostochiensis** posee un promedio de 21.6 estrías y **G. pallida** 12 estrías como se muestra en el cuadro 5 (38, 39).

A veces, el número promedio puede ser de 15, lo cual causa confusión; en este caso, si es necesario identificar la especie, se deben medir otros parámetros, especialmente de hembras, quistes y segundos estados juveniles y hacer comparaciones con los valores reportados en la literatura (12).

La identificación con técnicas modernas y sofisticadas como son las basadas en reacciones serológicas (34), punto isoeléctrico (25), separación de proteínas, enzimas y pruebas de ADN (3), también es factible.

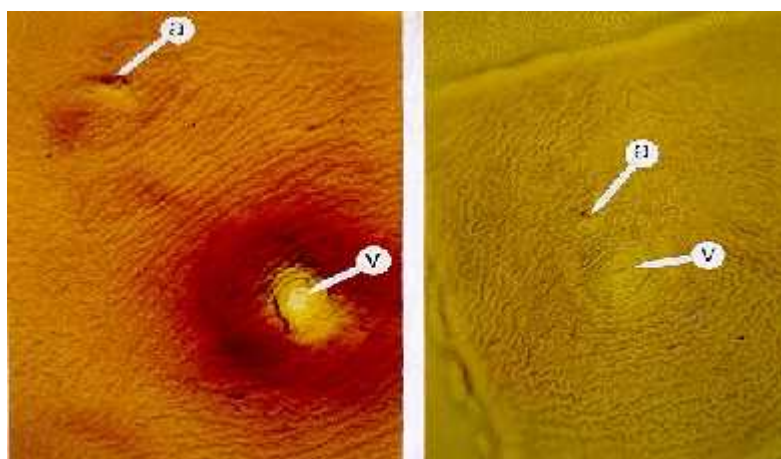


Figura 6. Cortes perineales de quistes de *Globodera rostochiensis* (izq) y *G. pallida* (der) (ano = a ; vulva = v)(15).

Cuadro 5 . Principales diferencias morfométricas entre *G. rostochiensis* y *G. pallida* (15,34).

Característica	<i>G. rostochiensis</i>	<i>G. pallida</i>
Hembra		
Largo del estilete (µm)	22.9	27.4
Diámetro zona vulvar (µm)	22.4	24.8
Largo vulva (µm)	9.2	11.5
Número de estrías cuticulares entre el ano y la vulva	21.6	12.5
Coloración	Amarillo	Crema
Quiste		
Diámetro fenestra (µm)	18.8	24.5
Distancia ano-fenestra (µm)	66.5	49.9
Relación Granek's(1)	3.6	2.1
Juveniles de segundo estado		
Largo del estilete (µm)	21.8	23.8
Forma de las protuberancias basales del estilete	Redondeadas apuntando hacia atrás	en forma de ancla apuntando hacia delante
Distancia entre la valvula del bulbo medio y el poro excretor (µm)	31.3	39.9

(1) Distancia ano-fenestra/diámetro fenestra.

3.1.7.8 Biología del nematodo dorado de la papa

Globodera rostochiensis y **G. pallida** son nematodos endoparasíticos sedentarios, que permanecen normalmente en el suelo por 5-6 años y a veces por 15 y 20 años (31). Cada quiste joven contiene 500 huevos (38). Después de la siembra, las raíces de la planta huésped, papa en este caso, producen exudados radicales que estimulan la eclosión de los huevos, de los cuales emergen los juveniles de segundo estado. Estos miden entre 470 y 500 µm de largo y entre 18 y 19 µm de ancho. Al salir del huevo, siendo el único estado infectivo, migra hacia el ápice radical por donde penetra. Después de recorrer algunos milímetros de la raíz, el juvenil se detiene y continúa su desarrollo como sedentario, pasando por tres estados juveniles antes de lograr el estado adulto (38).

En la familia *Heteroderidae*, a la cual pertenece el género **Globodera**, existe un dimorfismo sexual muy marcado. Mientras el segundo estado juvenil es móvil y vermiforme, el tercero y cuarto estado juvenil, así como las hembras adultas, son inmóviles y abultados (36).

El período de tiempo que el nematodo necesita para cumplir una generación, desde la penetración del juvenil del segundo estado hasta la formación de quistes con huevos, es de 45-60 días, según las condiciones ambientales. Se considera una temperatura de 10°C como la mínima a la cual el nematodo dorado puede comenzar su desarrollo. Las condiciones más favorables son una temperatura de 20-25 °C, una buena humedad del suelo y con pH de 2.6-4.

Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, como en casos de alta temperatura (28°C) y sequías, cuando la planta se aproxima al final del ciclo o bien las raíces están muy dañadas, las hembras se transforman temprano en quiste y el ciclo se acorta, mientras que, cuando la temperatura del suelo es menor de 20°C, se alarga. Estudios comparativos han demostrado que **G. pallida** se desarrolla mejor que **G. rostochiensis** a bajas temperaturas (30). Generalmente ocurre una sola generación por cada ciclo de cultivo de papa. Una segunda generación puede empezar, pero difícilmente es completada; sin embargo, existen datos de que sí es posible (17).

Algunas poblaciones de estos nematodos no atacan mucho a los tubérculos, mientras que otras infectan y se desarrollan muy bien sobre ellos, convirtiéndose, este medio de propagación, en un vehículo efectivo de diseminación del patógeno (16).

3.1.7.9 Patogenicidad y magnitud del daño producidos por el nematodo dorado

A nivel histológico el daño es representado por necrosis de las células de las raíces atravesadas por los juveniles de segundo estado. Cuando éstos se detienen en el lugar definitivo de alimentación, las células alrededor de la cabeza del nematodo sufren una profunda transformación. De 3 a 10 células alrededor de la cabeza de cada nematodo se funden, la pared celular engrosa, el citoplasma se torna denso y se origina el sincitio multinucleado de alta actividad metabólica como se muestra en la figura 7, el cual es indispensable para la alimentación del nematodo. La formación del sincitio ocasiona una interrupción de los vasos cribosos y leñosos limitando notablemente la funcionalidad de las raíces (19).

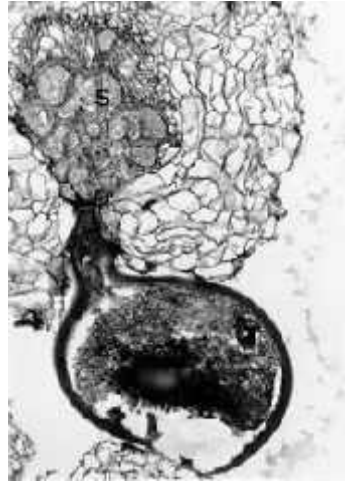


Figura 7. Área de sincitio multinucleado provocado por una hembra de **Globodera** (15).

Debido a esto, las plantas de papa atacadas por el nematodo presentan crecimiento y rendimiento reducidos (figura 8), la senectud se anticipa y, a veces, en suelos muy infestados, el follaje presenta un ligero amarillamiento. Las reducciones de rendimiento dependen del nivel poblacional del nematodo al momento de la siembra (19).

Ensayos realizados en Europa (16, 35) y Chile han determinado que el límite de tolerancia de la papa a los nematodos formadores de quistes es de aproximadamente 1.9 huevos/g de suelo. El rendimiento de la papa puede ser reducido entre 20 y 50% cuando el nivel poblacional del nematodo en el suelo alcanza 16 y 32 huevos/g de suelo, respectivamente. El cultivo puede ser destruido completamente cuando la población inicial del nematodo es de 64 huevos/g de suelo (19).

La magnitud del daño ocasionado por estos patógenos también depende del patotipo. A nivel mundial han sido identificados cinco patotipos de **G. rostochiensis** (Ro1, Ro2, Ro3, Ro4, Ro5) y seis de **G. pallida**: tres en Europa (Pa1, Pa2, Pa3) y tres en la zona andina (PA4, PA5, PA6) (26). La identificación de los patotipos se hace basándose en la tasa de reproducción de las distintas poblaciones en una serie standard de clones de **Solanum sp.** (3,21). Métodos basados en separación de proteínas, enzimas y pruebas de ADN, hasta ahora, no han dado resultados satisfactorios (11). De todas formas, mientras la mayoría de los investigadores coinciden en señalar como patotipos a Ro1 y Pa1, existen fuertes dudas en relación a considerar el resto como tales (42).



Figura 8. Daño causado en una plantación de papa por el nematodo dorado (4).

3.1.7.10 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DEL NEMATODO DE QUISTE DE LA PAPA

La distribución del nematodo dorado es amplia a nivel mundial como se muestra en el cuadro 6, existen países donde no se ha reportado aún, pero puede estar presente.

Cuadro 6. Países reportados con la presencia del nematodo dorado de la papa (6, 31).

CONTINENTE	Países reportados con <i>Globodera rostochiensis</i> (figura 9)
ASIA	Filipinas, India Japón, Corea, Líbano, Pakistán Sri Lanka, Tajikistán, ex URSS (Siberia Oriental , Siberia Occidental, Israel.
Africa	Algeria, Egipto, Islas Canarias, Libia, Marruecos, Nigeria, Sierra Leona, Sud Africa, Túnez, Zimbabwe
AMERICA DEL NORTE	Canadá (Newfoundland, British Columbia e Isla Vancouver), EEUU (Nueva York; erradicada en Delaware) y México
AMERICA DEL SUR	Bolivia, Chile, Perú, Venezuela, Colombia, Ecuador e Islas Malvinas
AMERICA CENTRAL	Panamá y Costa Rica
EUROPA	Alemania, Austria, Bélgica, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Grecia, Francia, Finlandia, Holanda, Hungría, Italia , Luxemburgo, Suiza, Portugal, Polonia, Suecia, Noruega, Irlanda, Inglaterra, Lituania, Estonia y Letonia, Hungría, Grecia, Islandia, Islas Guernesey, Islas Faeroe
OCEANÍA	Australia, Isla Norfolk y Nueva Zelandia

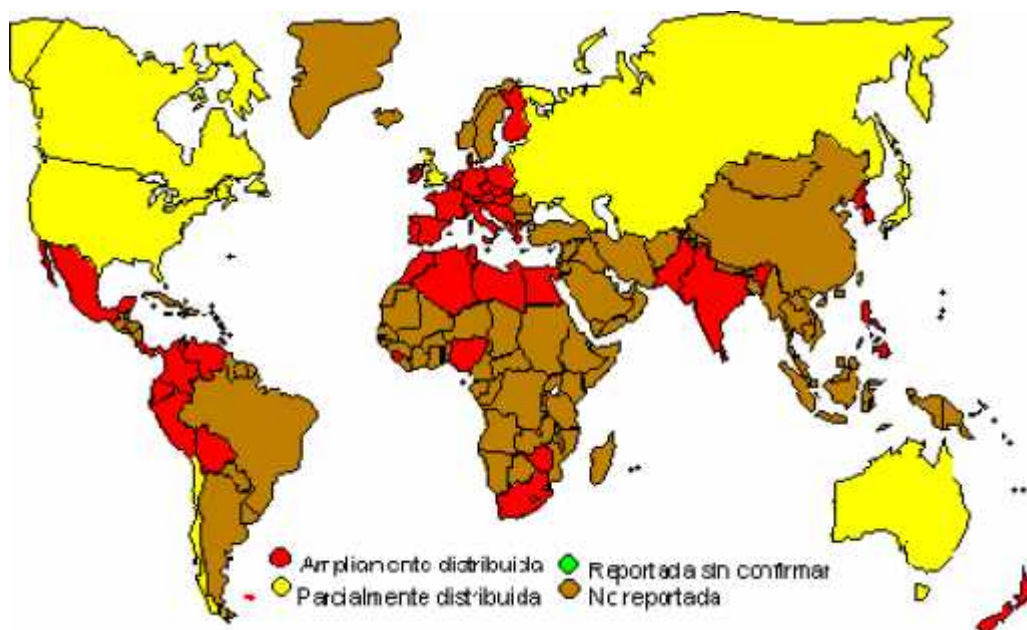


Figura 9. Distribución mundial del nematodo dorado de la papa (6).

3.1.7.11 DINAMICA POBLACIONAL Y DIFUSIÓN DE LOS NEMATODOS DE QUISTE

En ausencia del cultivo de papa, en zonas de clima templado, el nivel poblacional disminuye en un 50 % cada año, mientras que en países con clima cálido como Marruecos, puede ocurrir una reducción de casi el 100 %. En países con clima cálido la superficie del suelo en época de verano se calienta mucho y los nematodos que se encuentran en los primeros 5 – 10 cm mueren naturalmente; por lo tanto las araduras en esta época del año reducen sensiblemente el nivel poblacional del nematodo (35).

La dinámica de estos nematodos es afectada también por la época de siembra; generalmente las siembras de primavera son las que favorecen más su tasa reproductiva (población final / población inicial), alcanzando valores de 40 – 65 por cada ciclo de cultivo. En lugares con climas cálidos, las siembras de verano y las que se realizan hacia finales de otoño ocasionan una menor tasa reproductiva con valores de 8 – 9, reduciéndose por lo tanto, el efecto negativo sobre el próximo ciclo de cultivo (19).

La época de cosecha de la papa también afecta el nivel poblacional del nematodo, cuando la cosecha se realiza al final del ciclo biológico de la papa, todos los nematodos que han penetrado en las raíces alcanzan el estado de quiste, logrando así un nivel poblacional alto; contrario a esto cuando la papa es cosechada tempranamente aún muchos nematodos están en sus etapas juveniles y el nivel poblacional del suelo permanece bajo.

En un campo cultivado, el primer foco de infección se manifiesta en una pequeña área circular que se va agrandando hasta afectar toda la superficie. El nematodo por acción propia puede moverse de 1 a 2 mts / año, sin embargo el movimiento pasivo es más rápido, esto resultado de los siguientes aspectos :

- a. Suelo adherido a los implementos y maquinaria agrícolas, zapatos y patas de animales.
- b. Sistemas de riego que favorezcan la escorrentía de agua e inundaciones.
- c. Comercialización de semilla de papa entre países, regiones o continentes.

Los cultivares de papa juegan un papel importante en la dinámica del nematodo dorado, se conocen cultivares susceptibles a ambas especies y cultivares resistentes o parcialmente resistentes a una sola de ellas , que afectan la tasa de reproducción de los nematodos. En presencia de cultivares resistentes los juveniles del segundo estado salen del quiste, penetran las raíces, pero no se desarrollan. A veces la reducción poblacional usando un cultivar resistente puede ser mayor que usando un cultivo no huésped o dejando el suelo en barbecho.

El uso de cultivares resistentes ejerce una presión selectiva sobre el nematodo, debido al hecho que no existen cultivares resistentes para ambas especies o patotipos de ellas, pueden encontrarse en el mismo campo, de manera que el uso de un cultivar resistente puede reducir la incidencia de una especie o patotipo, pero favorece el desarrollo de la otra especie u otro patotipo (4). Se ha determinado que el uso continuo del mismo cultivar resistente ocasiona la selección de patotipos que antes no eran importantes.

3.1.7.12 ESTUDIOS RECIENTES SOBRE NEMATODOS DE QUISTE EN GUATEMALA

En el año de 1,979 en Guatemala se realizó un trabajo exploratorio que permitió reconocer los grupos de nematodos de quiste y determinar la presencia y su distribución en los departamentos de Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango y Totonicapán, el trabajo de muestreo se realizó en las áreas de ingerencia del ICTA.

Luego de los muestreos se realizó el procedimiento de extracción de quistes con el método de flotación de Feenwick, descrito por Spears y Campos Vela. Los quistes obtenidos se colocaron en laminillas de vidrio para realizarles cortes ecuatoriales y laterales, y luego de procesar los cortes se montaron en glicerina o bálsamo de Canadá. Luego se procedió a observar caracteres taxonómicos como las estructuras vulvo-anal y las estrías, y por último se hizo un estudio microfotográfico y un bioensayo utilizando plantas de tomate (12).

El resultado de ese estudio a nivel exploratorio de nematodos de quiste en los departamentos seleccionados para el mismo fue el siguiente : se concluyó en este estudio que si existen nematodos del quiste en Guatemala de los subgéneros para ese tiempo *Globodera* y *Heterodera*, el más generalizado fue el de *Globodera* con un 88.29 % de 94 muestras.

Se identificaron dentro de *Globodera* a los grupos **G. punctata** asociado con gramíneas, **G. virginiae** asociado con el cultivo de tomate, así como **H. (G) pallida** los cuales provenían de terrenos donde antes se había cultivado papa; no se encontró el nematodo dorado de la papa en este estudio realizado por Miriam García Martínez (12).

3.1.8 ASPECTOS LEGALES PARA LA FITOZOOSANIDAD EN GUATEMALA

En Guatemala a través de la Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), se vela por el buen manejo de los recursos y producción agrícola y pecuaria en el aspecto fitozoosanitario; para ello se creó la Ley de Sanidad Vegetal y Animal, Decreto No. 36-98 del Congreso de la República y de su Reglamento, Acuerdo Gubernativo No. 745-99.

Con la vigencia de ambos instrumentos legales se particularizan los compromisos adquiridos por Guatemala ante la Organización Mundial del Comercio, específicamente lo concerniente al Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias, acordes con las directrices emanadas de la Oficina Internacional de Epizootias –OIE-, Convención Internacional de Protección Fitosanitaria –IPPC- y Codex Alimentarius (28).

La *Ley* presenta innovaciones de carácter técnico y administrativo, tal es el caso del Análisis de Evaluación de Riesgos de Plagas y Enfermedades, Delegación de Servicios en Sanidad y Vegetal y Regencia Profesional. El *Reglamento* presenta y refleja la integración funcional de aspectos vinculados entre sí, como lo son la vigilancia Epidemiológica Fitozoosanitaria, Cuarentena Vegetal y Animal y el Registro y Control de Insumo agrícola y en animales, entre otros (28).

En ambos documentos se dan a conocer artículos relacionados con la imposición de cuarentenas, esto como resultado de estudios profundos de monitoreo, incidencia, diagnóstico y evaluaciones a nivel de laboratorio de patogenicidad que arrojen evidencias científicas confiables de la presencia de plagas exóticas que perjudicarían a las zonas agrícolas y pecuarias del país (artículos 3, 6, 10, 17 y 53 del reglamento) (28). Las medidas de protección fitosanitaria comprenden acciones técnicas, administrativas y legales que se ejecutan con la finalidad de erradicar, evitar la introducción, establecimiento, diseminación y dispersión de plagas o enfermedades de los vegetales.

La información técnica es indispensable para establecer y mantener actualizado el inventario de plagas y enfermedades, su incidencia, prevalencia, dinámica poblacional y distribución geográfica; así como los indicadores y parámetros que fundamenten las medidas técnicas para la prevención y control de daños en la producción agropecuaria del país; y evitar el establecimiento y dispersión de plagas y enfermedades, por medio de la implementación de puestos de cuarentena interna, inspección, muestreo y diagnóstico en campo y laboratorio (28).

El período de cuarentena de vegetales, animales, sus productos y subproductos es determinado por el MAGA, **con bases técnicas, científicas y tomando en cuenta los períodos de incubación, trasmisibilidad, infecciosidad, confiabilidad de las pruebas de laboratorio** y estado fitosanitario del país del cual procede (28).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 LOCALIZACIÓN

El municipio de Patzicía, pertenece al departamento de Chimaltenango. Se encuentra ubicado a 14°37'54" de latitud norte y 90°55'54" de longitud oeste; colinda al Norte con el municipio de Santa Cruz Balanyá, al Este con Zaragoza, al Sur con Acatenango y al Oeste con Patzún. Sobre la ruta nacional 1 en la carretera interamericana (CA-1) dista a 14 km de la cabecera departamental de Chimaltenango y 68 km a la capital del país, se encuentra a una altura de 2,130.94 msnm (22).

3.2.2 CARACTERISTICAS CLIMATICAS

Según De la Cruz , basado en el método de Holdridge reporta que esta área pertenece a la zona de vida de bosque muy húmedo, montano bajo subtropical (bmh-MB), con una humedad relativa promedio del 80 % (7).

El régimen de lluvias aproximado es de 2,065 a 3,900 mm por año, con un promedio de 2,730 mm ; las temperaturas oscilan entre los 15 a 23 °C, con una temperatura media anual de 18.9 °C, la evapotranspiración estimada es de 0.35 .Según el sistema de clasificación de Thornthwhite, el área de Patzicía pertenece a la clase B2, B, Bi, cuyas características son : clima templado con invierno benigno, húmedo (22).

3.2.3 CONDICIONES EDAFICAS, TOPOGRAFÍA Y VEGETACION

Simmons et al, clasifica los suelos de Patzicía dentro de la serie de suelos Cauque, estos son suelos profundos bien drenados de la Altiplanicie central, desarrollados sobre cenizas volcánicas pomáceo color claro, con relieve fuertemente ondulado, inclinado a plano, el suelo superficial es de color muy oscuro, franco a franco arcilloso, arenoso friable, estructura granular suave, un pH aproximado de 6.0 y poseen una profundidad de 0.2 a 0.4 m; el subsuelo es color café amarillento, friable con textura franco arcillosa y espesor de 0.75 m (37).

La topografía de Patzicía es variable, va desde planicies a terrenos quebrados con inclinaciones superiores a 15°; la vegetación predominante es el Ciprés (**Cupressus lusitanica**), Pino ayacahuite (**Pinus ayacahuite**), se observan también el Encino (**Quercus sp.**) y el Aliso (**Alnus jorullensis**) (7), cultivos como crucíferas, remolacha, zanahoria, maíz, frijol, papa, principalmente se encuentran en este municipio.

4. OBJETIVOS

- 4.1 Determinar la presencia de géneros de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* en áreas de cultivo de papa **Solanum tuberosum L.** en el municipio de Patzicía, Chimaltenango.
- 4.2 Establecer si los géneros de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae*, que estén presentes, son parásitos en el cultivo de la papa.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 Existen nematodos pertenecientes a la subfamilia *Heteroderinae* en la región del municipio de Patzicía, Chimaltenango, asociados al cultivo de la papa.
- 5.2 Si existen nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* que se encuentran en la región de Patzicía estos no son parásitos del cultivo de la papa.

6. METODOLOGÍA

6.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO

Según el MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) para el mes de noviembre del 2,001 se reportaba un área útil de siembra de 343 ha. con una producción de 6995.7 toneladas de papa en el municipio de Patzicía. Según la municipalidad de Patzicía las aldeas en las cuales se cultivaba papa eran : El Sitán, El Llano, El Camán, el Valle de Patzicía, El Xuluc, y El Pahuit . En las figuras 10 – 15 se muestra la ubicación de las aldeas muestreadas.



Figura 10. Ubicación geográfica de la aldea El Sitán (Fuente: Hoja "Chimaltenango". Mapa Cartográfico Esc. 1:50000)



Figura 11. Ubicación geográfica de la zona de El Llano (Fuente: Hoja "Chimaltenango". Mapa Cartográfico Esc. 1:50000)

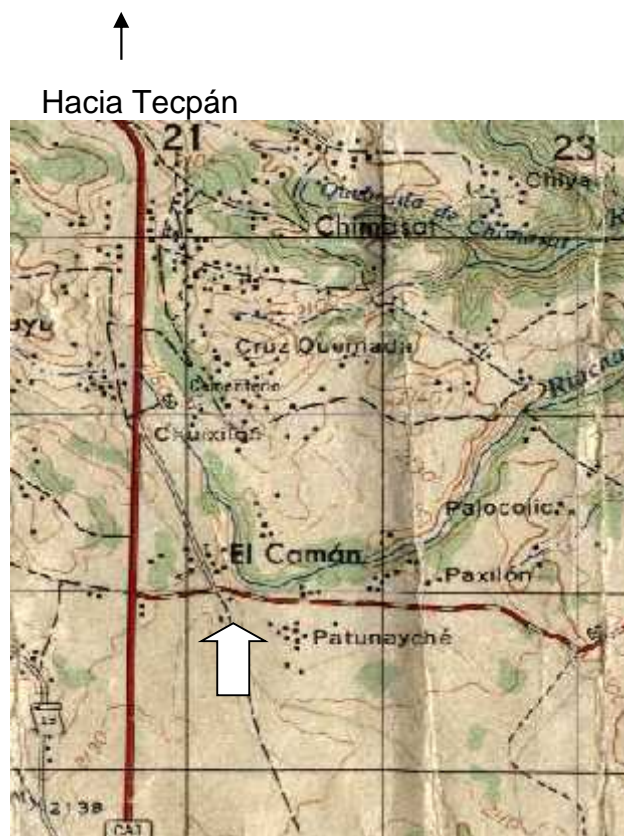


Figura 12. Ubicación geográfica de la aldea El Camán (Fuente: Hoja "Tecpán Guatemala". Mapa Cartográfico Esc. 1:50000)



Figura 13. Ubicación geográfica de la zona del Valle de Patzicía (Fuente: Hoja "Chimaltenango". Mapa Cartográfico Esc. 1:50000)



Figura 14. Ubicación geográfica de la aldea El Xuluc (Fuente: Hoja "Chimaltenango". Mapa Cartográfico Esc. 1:50000)



Figura 15. Ubicación geográfica de la aldea El Pahuit (Fuente: Hoja "Chimaltenango". Mapa Cartográfico Esc. 1:50000)

6.2 PLANIFICACIÓN DEL MUESTREO

Para la realización del muestreo en un área de siembra puede ser un campo con o sin cultivo en el cual pueden existir síntomas definidos o no.

En la presente investigación se utilizó como base las 343 has. reportadas para el año 2001 y como criterio para el muestreo el uso de un tamaño de muestra el cual tenía una precisión y confiabilidad dadas a priori por el investigador (2). Lo anterior definió el número de muestras a tomar en el campo para obtener los quistes de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae*.

Para obtener el número de muestras se utilizó un muestreo simple aleatorio, utilizando una precisión de 0.053 y una confiabilidad del 95 % en los valores del área bajo la curva normal y representados en la tabla de valores de Z (1.96) . La fórmula utilizada para obtener el número de muestras es la de “proporción de un tamaño de muestra de población finita”:

$$n = \frac{p q}{D^2 + p q / N} \quad (2)$$

Donde :

n= tamaño de muestra (has.)

N= población total (has.)

p= proporción de elementos con la característica de interés

q= proporción de elementos sin la característica de interés

D= d / Z d = precisión Z = valor de tabla para coeficiente de confiabilidad

Sustituyendo valores el tamaño de muestra (hectáreas a muestrear) fue el siguiente :

$$n = \frac{(0.5)(0.5)}{\left[\frac{0.053}{1.96} \right]^2 + \frac{(0.5)(0.5)}{343}}$$

$$n = 171 \text{ Hectáreas}$$

6.3 FASE DE CAMPO

6.3.1 TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

Luego de definir el tamaño de muestra , se procedió a la toma de muestras de suelo en áreas donde se encontró el cultivo presente y donde se había cultivado con anterioridad según el criterio que los quistes permanecen viables en el suelo entre los 5 y 20 años (4, 38).

En el campo se iniciaron los caminamientos de submuestreo desde cualquier extremo del terreno, para terrenos sin cultivo se realizaron caminamientos en zig – zag cubriendo la mayor parte del terreno (ver anexos fig. 32A); para terrenos con cultivo se muestreo en zig – zag tomando muestras de la base de las plantas (no entre surcos).

Según Zuckerman (45), de 20 a 100 puntos de submuestreo de suelo pueden ser tomados en campos de cultivo de más de 2 hectáreas, para este caso se tomaron 20 sub muestras por hectárea. Para la obtención del suelo en los puntos de submuestreo se utilizó un barreno de 0.025 metros de diámetro y se tomó suelo de los primeros 0.20 metros de profundidad, se tomó una porción de 1/10 de kilogramo, colocando esta dentro de una bolsa plástica. El suelo obtenido de las sub muestras se mezcló para obtener una muestra compleja de 2 kilogramos (44).

Posteriormente a la toma de cada muestra de suelo se localizaron las coordenadas (utm) del sitio usando un *GPS (Global Positioning System)* que es un sistema de localización global vía satélite; estas coordenadas fueron útiles en la realización de mapas con el programa Arc View GIS 3.2ª. donde se muestra la distribución de los distintos géneros de nematodos de quiste (ver anexos).

6.3.2 MANEJO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Cada muestra de suelo compleja se colocó en una bolsa plástica y se identificó con una etiqueta de cartulina con datos de sitio de colecta, fecha y número de muestra. Las muestras se trasladaron en bolsas plásticas a un área techada ventilada en donde se secaron . Para el secado, cada muestra se colocó sobre papel periódico en un lugar cubierto para secarlas a temperatura ambiente durante 8 días (44). Al secarse la muestra se introdujo en una bolsa para su traslado al laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía.

6.4 FASE DE LABORATORIO

6.4.1 EXTRACCIÓN Y AISLAMIENTO DE NEMATODOS DE QUISTE

Se utilizó la técnica de flotación de quistes, del método de **FENWICK** modificado con flotación en acetona (44).

6.4.2 PROCEDIMIENTO PARA EXTRACCIÓN DE NEMATODOS DE QUISTE

- a) Se introdujo un embudo con su parte tubular lo más larga posible, dentro de un recipiente de 9 litros de capacidad con adaptación de un drenaje de fluidos como se muestra en la figura 16.
- b) Se colocaron 300 cc de la muestra de suelo dentro de un tamiz de 20 mesh y se acopló al embudo.
- c) Se hizo pasar una corriente de agua a presión con una manguera para el arrastre del suelo hacia el fondo del recipiente. En el fondo se acumuló el suelo y por la parte del drenaje fue saliendo por su menor densidad materia orgánica del suelo y quistes, que se recolectaron en un tamiz de 65 mesh (ver figura 33 A).
- d) Luego utilizando una piseta se colectó la materia orgánica y quistes en papel filtro (papel filtro de percolador) identificado, dentro de lo colectado se encontraban también partículas de suelo, arcillas, e insectos (ver figura 33 A).
- e) Se secó lo filtrado a temperatura ambiente, y todo el material que estaba en el papel filtro se vació dentro de un erlenmeyer de boca angosta.
- f) Se agregó acetona (grado industrial) hasta la mitad del erlenmeyer, se agitó el contenido fuertemente con una varilla de aluminio, se terminó de llenar con acetona hasta la orilla de la boca del recipiente.
- g) Se dejó reposar por 30 segundos.
- h) Los quistes flotaron en la orilla del erlenmeyer y se colectaron con un pincel y se colocaron en un vidrio de reloj con agua (ver figura 34 A).
- i) Se observaron con un estereoscopio para separar los quistes de la materia orgánica (ver figura 34 A).

- j) Luego de separar los quistes estos se colocaron en frascos pequeños para su preservación con una solución de FS 4 : 1 e inmediatamente se llevó dicha solución con quistes al punto de ebullición usando una estufa eléctrica.



Figura 16. Equipo utilizado para la extracción de quistes por el método de flotación (foto tomada en laboratorio Oct 2002).

6.4.3 DETERMINACIÓN DE GÉNEROS DE NEMATODOS DE QUISTE

Para la determinación de los quistes colectados se tomaron parámetros básicos de su anatomía y morfología:

- A. Forma del quiste, si era esférico, alargado con apariencia citriforme o piriforme
- B. Textura y color del quiste
- C. Presencia y forma del cono vulval, si era protuberante o plano
- D. Constante de Granek's

Los quistes se colocaron en una gota de agua sobre portaobjetos y se observaron en el estereoscopio y compararon con los gráficos que se presentan en las claves de *Tylenchida* de Siddiqi et al. 2 ed., *Crop Compendium Cab International* y del *C:I:H: descriptions of plant parasitic nematodes de Stone* con éstos gráficos se tomaron los aspectos de forma del quiste y presencia y forma del cono vulval.

La relación o constante de Granek's se obtuvo de mediciones de montajes de fenestralias de los quistes colectados.

6.4.3.1 PREPARACIÓN DE MONTAJES DE FENESTRALIAS DE QUISTES

- a) Haciendo uso de un estereoscopio se colocó el quiste sobre una gota de agua en un porta objeto para eliminar la suciedad.
- b) Con una hoja de afeitar se realizó un corte ecuatorial del quiste, conservando la mitad posterior del cuerpo.
- c) La parte posterior del cuerpo fue limpiada extrayendo los huevecillos con ayuda de agujas entomológicas, luego se colocó en una pequeña gota de lactofenol claro.
- d) Se realizaron otros cortes a manera de eliminar el exceso de tejido que circunda la fenestra del quiste.
- e) Se transfirieron los cortes a una gota grande de agua oxigenada por 2 minutos.
- f) Luego se transfirieron los cortes a soluciones de alcohol al 70 y 96% sobre vidrios de reloj de uno a dos minutos en cada solución.
- g) Se montaron los cortes en gelatina glicerada.
- h) Se sellaron e identificaron, posteriormente se tomaron microfotografías.

Con ayuda de micrómetro en el microscopio compuesto previamente calibrado se tomaron los datos de diámetro de fenestra y de la distancia de ano- fenestra, para calcular la relación Granek's.

$$\text{Relación Granek's} = \frac{\text{Distancia ano – fenestra vulval } (\mu\text{m})}{\text{Diámetro fenestra vulval } (\mu\text{m})} \quad (15)$$

6.4.4 PRUEBA DE BIOENSAYO PARA DETERMINAR PATOGENICIDAD

Al observar las formas de quistes (esférico o alargado citriforme o piriforme) y cono vulval; determinar los géneros y constatar la presencia del género **Globodera** se procedió a la realización de bioensayos de patogenicidad (15,28) para lo cual se dieron los siguientes pasos:

- a) Se tomaron muestras nuevamente en todos los sitios donde se presentó el género **Globodera** y en los sitios donde se presentó mayor densidad de los otros tres géneros determinados.
- b) Se realizaron extracciones de quistes de las muestras, a modo de obtener la mayor cantidad y se colocaron dentro de papel mayordomo por su fácil degradación al existir humedad dentro de la maceta.
- c) El suelo a utilizar se esterilizó con vapor a presión en el autoclave a 120°C por 30 minutos, el cual se colocó en macetas plásticas nuevas.
- d) Para la siembra se utilizó semilla de papa germinada de la variedad Loman.
- e) Se colocó el papel mayordomo con los quistes según su género (de 10 a 15 quistes) justo debajo de un tubérculo de papa germinado dentro de la maceta. Se realizaron 2 repeticiones por muestra.
- f) A todo el lote de macetas sembradas (figura 35A) se le dio el cuidado necesario para su buen desarrollo.
- g) Se utilizaron macetas las cuales no fueron inoculadas con quistes como función de testigo o comparador para sintomatologías visibles (28).
- h) Luego de transcurridos 65 días en la etapa de floración se procedió a observar si hubo patogenicidad en la parte aérea de las plantas (clorosis o debilitamiento), también se observó las raíces en el estereoscopio para ver si existió daño por quistes.
- i) Para confirmación de reproducción de los géneros de quistes determinados se realizaron extracciones al suelo de las macetas en las cuales se realizó el bioensayo.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DETERMINACION DE LOS DISTINTOS GENEROS DE NEMATODOS DE QUISTE ENCONTRADOS EN PLANTACIONES DE PAPA EN LAS AREAS MUESTREADAS

Se analizaron un total de 171 muestras procedentes de igual número de hectáreas, las cuales fueron obtenidas en el mes de agosto del 2,002. Fueron procesadas y analizadas en el laboratorio de Fitopatología de la FAUSAC en los meses de Septiembre a Noviembre del 2,002. La fase de bioensayo que duró 65 días se realizó en los meses de Noviembre del 2,002 a Enero del 2,003.

Para la determinación de los géneros de nematodos de quiste presentes se utilizaron las claves taxonómicas y gráficos de : *Tylenchida de Siddiqi et al. 2 ed., Crop Compendium Cab International* y del *C:I:H: descriptions of plant parasitic nematodes de Stone*, los cuales se basan en características morfológicas de los nematodos en estudio.

De las 171 muestras de las áreas cultivadas con papa que se recolectaron en el municipio de Patzicía; en 97 muestras no se encontraron quistes (ver figura 17) y en 74 de estas muestras o sitios muestreados (43 % del total de área muestreada) se encontraron nematodos de quiste de los géneros : **Heterodera, Punctodera, Globodera** y **Afenestrata**.

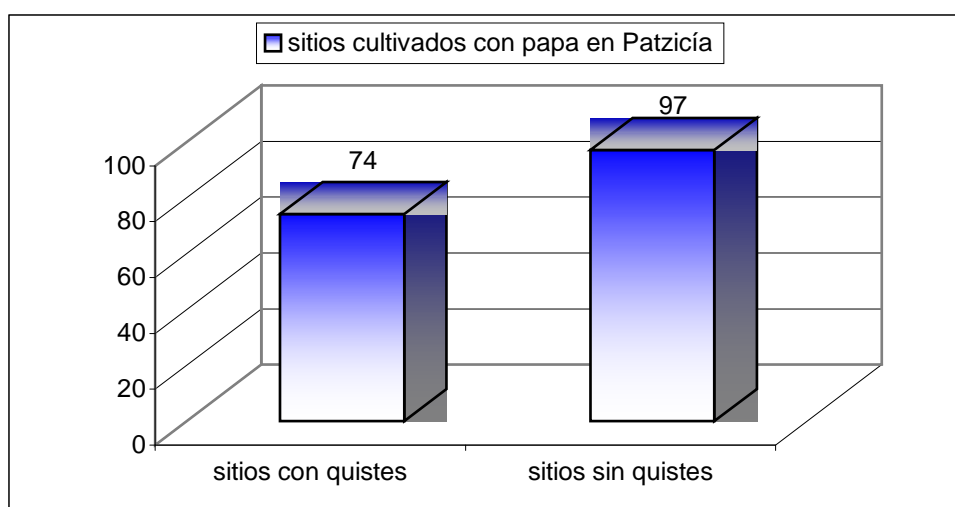


Figura 17. Gráfica comparativa de sitios con quistes en la zona productora de papa de Patzicía.

7.2 DISTRIBUCIÓN E INCIDENCIA DE LOS DISTINTOS GÉNEROS EN LAS ÁREAS MUESTREADAS

El municipio de Patzicía fue subdividido según las áreas cultivadas con papa las cuales fueron localizadas en distintas aldeas. De las 74 muestras en donde se encontraron quistes de nematodos, en 49 muestras (28.6%) se encontró el género **Heterodera**, en 54 muestras (31.5%) se encontró el género **Punctodera**, en 7 muestras (4%) se encontró el género **Globodera** y en 5 muestras (3%) se encontró el género **Afenestrata**, esta distribución se muestra en la figura 18 tomando en cuenta el dato de 97 sitios (57%) en los cuales no se encontró ningún género de nematodo de quiste. La distribución de los géneros de nematodos encontrados en el municipio de Patzicía se presentan en mapas (ver anexos).

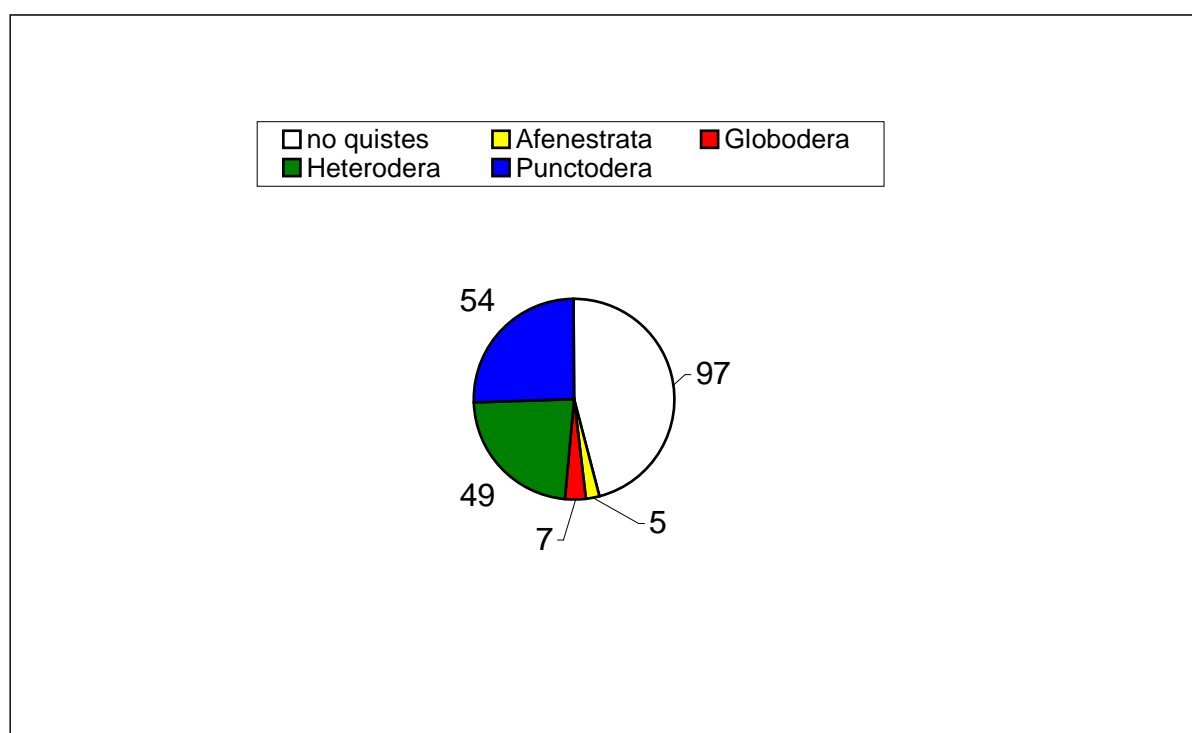


Figura 18 . Géneros de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* encontrados en los 171 sitios muestreados en áreas de cultivo de papa en el municipio de Patzicía.

Se puede observar además que la distribución de géneros de nematodos de quiste fue muy singular según el área o aldea muestreada, así pues se pudo determinar que por sitio de muestreo existían uno, dos y hasta tres géneros distintos como se muestra en el cuadro 7 y la figura 19.

Cuadro 7. Distribución de interacción de géneros en las mismas muestras de suelo por aldea.

Géneros	El Sitán	El Camán	El Xuluc	Pahuit	Llano	Valle Pat	Total sitios
NPQ	9	15	19	3	5	46	97
Het y Punc	3	10	2	0	0	10	25
Het	2	4	4	0	0	8	18
Het y Glo	1	0	0	0	0	0	1
Punc	5	4	0	0	0	11	20
Punc y Afen	1	2	0	0	1	0	4
Het, Glo Punc	4	0	0	1	0	0	5
Afen y Glo	0	0	0	1	0	0	1
	25	35	25	5	6	75	171

Referencias : NPQ= no presentó quistes, Punc= Punctodera, Het= Heterodera, Glo= Globodera, Afen= Afenestrata

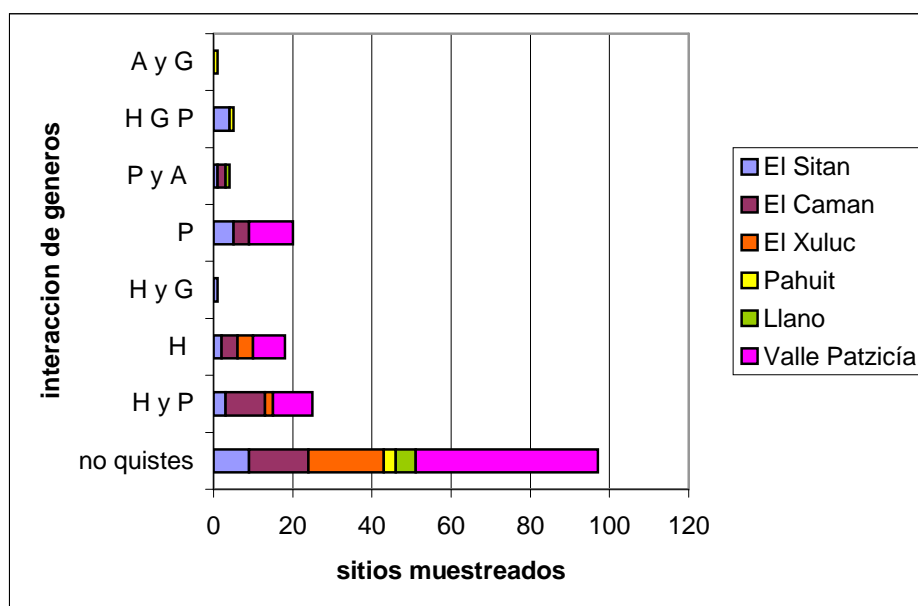


Figura 19 . Interacción de géneros en una misma muestra en todos los sitios muestreados.

Cada localidad muestreada agrupó ciertos géneros característicos, como lo fue la aldea El Sitán y Pahuit en donde se encontraron los cuatro géneros determinados (**Heterodera**, **Punctodera**, **Globodera** y **Afenestrata**), en la aldea El Camán se encontraron tres géneros (**Heterodera**, **Punctodera** y **Afenestrata**), en la aldea El Xuluc se encontraron solo dos géneros (**Punctodera** y **Heterodera**), en el área pequeña de El Llano se encontraron también dos géneros (**Afenestrata** y **Punctodera**) y en el Valle de Patzicía que es el área más extensa que se muestreó y que ocupa mas de la mitad del municipio se localizaron dos géneros (**Punctodera** y **Heterodera**). La distribución de los géneros por aldeas se aprecia mejor en el cuadro 8 y la figura 20.

Cuadro 8. Distribución de géneros de la subfamilia *Heteroderinae* por aldeas en Patzicía.

	<i>Heterodera</i>	<i>Punctodera</i>	<i>Globodera</i>	<i>Afenestrata</i>	sin quistes
Sitán	10	13	5	1	9
Camán	14	16	0	2	15
Xuluc	6	2	0	0	19
Pahuit	1	1	2	1	3
Llano	0	1	0	1	5
Valle	18	21	0	0	46

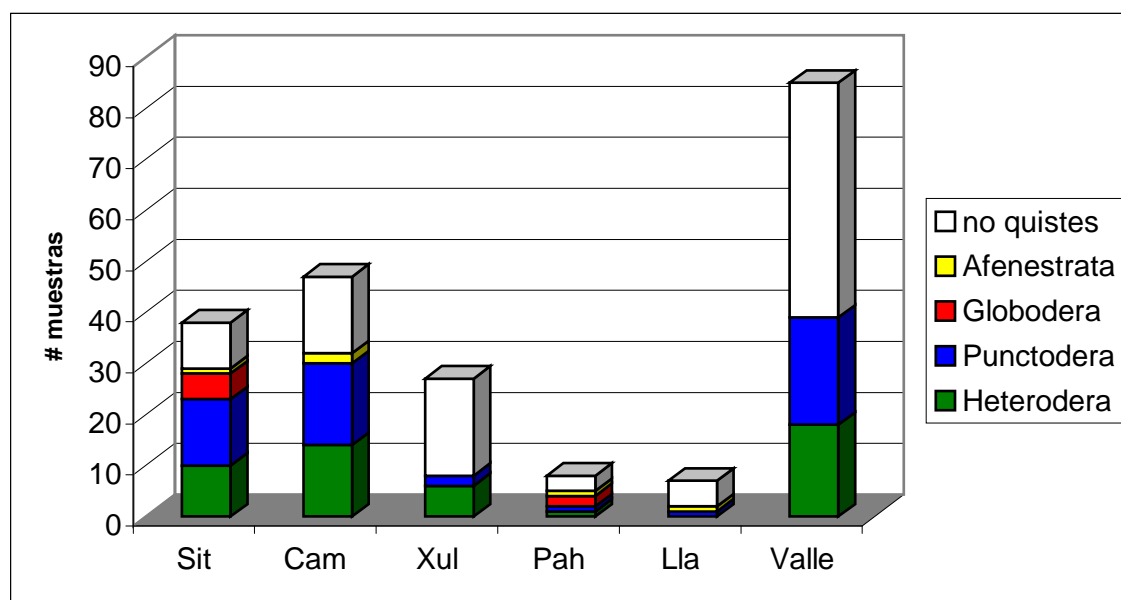


Figura 20. Distribución de los géneros de nematodos de quiste encontrados en el municipio de Patzicía por aldea muestreada. (Ref : Sit= Sitán, Cam= Camán, Xul= Xuluc, Pah= Pahuit, Lla= Llano)

Para tener un panorama claro de la distribución de los géneros por aldeas muestreadas se dan a conocer cuadros referentes a cada género distribuido por sitio muestreado codificado según la aldea, así también se acompaña este análisis con datos de % de incidencia y de densidad poblacional, lo cual permite conocer que tan significativa es la influencia de los géneros de nematodos de quiste determinados en las áreas cultivadas con papa.

Para la aldea **EL SITAN** se muestrearon 25 sitios, de los cuales en 16 se encontraron quistes de los géneros **Punctodera** con 52 % de incidencia, **Heterodera** con 40 %, **Globodera** con 20 % y **Afenestrata** con 4 % como se muestra en la figura 21. Es importante dar a conocer que esta aldea se encuentra en terrenos inclinados, los sitios muestreados van de los 2053 a los 2145 msnm y se puede decir que existe un intercambio de partículas de suelo por la erosión hídrica de las partes altas a las bajas; así también estos terrenos son utilizados con cultivos en rotación como papa, remolacha, maíz, repollo, coliflor, zanahoria principalmente, lo que indica la razón de encontrar estos cuatro géneros de quistes.

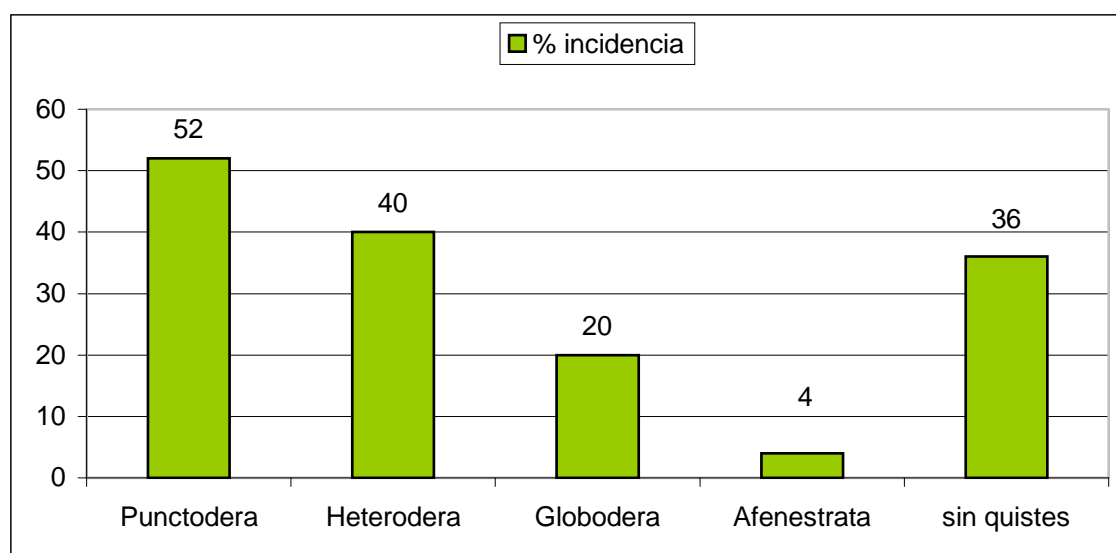


Figura 21. Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea El Sitán.

En esta región el género de predominancia fue **Punctodera** el cual ha sido descrito como parásito de gramíneas (4,36), se encontraron densidades por sitio que van de 3 a 25 quistes/ 300 cc de suelo, este género no tiene importancia económica.

Otro género importante encontrado fue **Heterodera** que tiene un gran rango de hospederos (4) presentó densidades por sitio que van de 2 a 7 quistes/ 300 cc de suelo, este dato nos indica que las poblaciones de quistes de este género son menores que los niveles de tolerancia de la especie típica de este género como lo es **H. schachtii** el cual causa pérdidas a razón de >150 quistes/ 300 cc de suelo, **H. cruciferae** y **H. goettingiana** con un nivel de tolerancia de >37 y >100 quistes/ 300 cc de suelo respectivamente (9).

También se encuentra el género **Globodera** con densidades de 2 a 5 quistes/ 300 cc de suelo, las cuales son significativas comparando con el nivel de tolerancia en papa que >1.35 quistes/ 300 cc de suelo para **Globodera rostochiensis** y **G. pallida** (16).

En el cuadro 9 se muestra con detalle los géneros y su densidad.

Cuadro 9. Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en las muestras de suelo provenientes de la aldea El Sitán, Patzicía

ALDEA EL SITAN				TOTAL MUESTRAS = 25		MUESTRAS SIN QUISTES = 9	
codigo	Coordenadas		msnm	Géneros y Densidades por 300 cc de suelo			
16	15 P	Utm		<i>PUNCTODERA</i>	<i>HETERODERA</i>	<i>GLOBODERA</i>	<i>AFENESTRATA</i>
SIT-1	725693	1617908	2145	3	2		
SIT-2	725769	1617968	2143		5		
SIT-3	725745	1618060	2128	4	2		
SIT-4	725689	1618021	2145		7	3	
SIT-5	725585	1618075	2121	25			
SIT-6	725658	1618292	2115	8	4		
SIT-7	725551	1618374	2094	9	5	2	
SIT-8	725454	1618266	2098	8			
SIT-9	725504	1618546	2144	6	2	5	
SIT-10	725375	1618212	2087	9	2	2	
SIT-11	725063	1618222	2076	8			
SIT-16	725491	1618642	2096	10			
SIT-19	725433	1619053	2060	3			3
SIT-21	725263	1619048	2074	10			
SIT-22	725364	1618922	2066	15	5	5	
SIT-24	726217	1618889	2073		3		
TOTAL DE QUISTES				118	37	17	3
PROMEDIO DENSIDAD POBLACIONAL POR GENERO				9	4	3	3
% DE INCIDENCIA POR GENERO				52	40	20	4

Para la aldea **EL CAMAN** se muestrearon 35 sitios, de estos 20 presentaron quistes, de los cuales el género **Punctodera** presentó un 46 % de incidencia, seguido por **Heterodera** con 40 % y **Afenestrata** con 6 % como se muestra en la figura 22. En esta área se encuentran terrenos regularmente planos que van de los 2020 a los 2178 msnm con un promedio de altura de 2059 msnm donde el arrastre de partículas de suelo por agua es leve, los cultivos predominantes son la papa, coliflor, zanahoria, repollo, guicoy, maíz y frijol que se alternan según la demanda de los mismos.

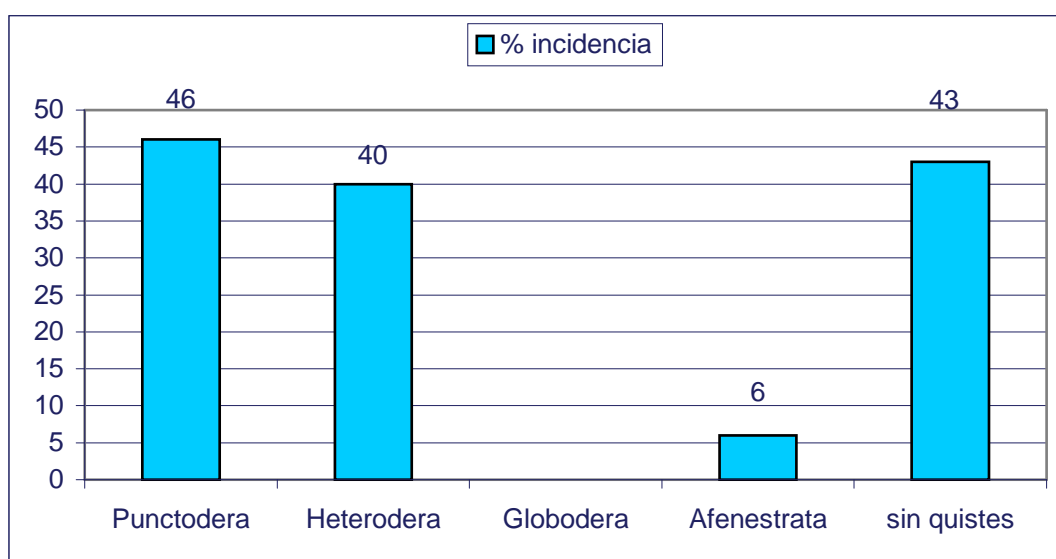


Figura 22. Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea El Camán.

Los géneros con mayor predominancia fueron **Punctodera** y **Heterodera**, presentaron densidades de 2 a 30 quistes/ 300 cc suelo y de 1 a 10 quistes/ 300 cc de suelo respectivamente; en este caso en el primero no existe significancia económica (4), para **Heterodera** los niveles poblacionales son menores a los niveles de tolerancia para las especies de **H. schachtii**, **H. cruciferae** y **H. goettingiana** que presentan daños a razón de >150, >37 y >100 quistes/ 300 cc de suelo respectivamente (9). Las densidades poblacionales para cada sitio se pueden ver en el cuadro 10.

Cuadro 10. Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en la aldea El Camán.

ALDEA EL CAMAN			TOTAL MUESTRAS = 35		MUESTRAS SIN QUISTES = 15		
Código	Coordenadas		msnm	Géneros y Densidades por 300 cc de suelo			
20	15 P	Utm		PUNCTODERA	HETERODERA	GLOBODERA	AFENESTRATA
CAM-2	721818	1622898	2024	7			
CAM-3	722026	1623136	2020	3			2
CAM-4	721939	1623206	2021		3		
CAM-6	721427	1622857	2026	1			3
CAM-8	721544	1622541	2021		2		
CAM-9	721403	1623272	2029	30	5		
CAM-10	721219	1623982	2036	3	1		
CAM-11	721047	1624602	2044		3		
CAM-12	720734	1625480	2055	14	5		
CAM-13	720363	1625394	2064		2		
CAM-15	719378	1624728	2108	12	4		
CAM-16	719253	1624436	2136	15	5		
CAM-17	718411	1623743	2178	15	10		
CAM-18	718563	1623280	2124	3	1		
CAM-19	718688	1622913	2069	2	1		
CAM-20	718820	1622555	2063	3			
CAM-23	719423	1621661	2057	7	2		
CAM-32	720626	1623536	2042	4			
CAM-34	720415	1624562	2081	4			
CAM-35	719706	1625341	2116	5	3		
TOTAL DE QUISTES				128	47	x	5
PROMEDIO DENSIDAD POBLACIONAL POR GENERO				8	3	x	3
% DE INCIDENCIA POR GENERO				46	40	x	6

Para la aldea **EL XULUC** se muestrearon 25 sitios, de éstos solo 6 tenían quistes donde el género **Punctodera** presentó 8 % de incidencia y **Heterodera** con 24 % como se muestra en la figura 23. En esta aldea se presenta la característica de tener poca presencia de quistes, aquí los terrenos son regularmente planos los cuales van de los 2028 a los 2063 msnm. En esta área el cultivo de papa se rota con maíz, frijol y crucíferas.

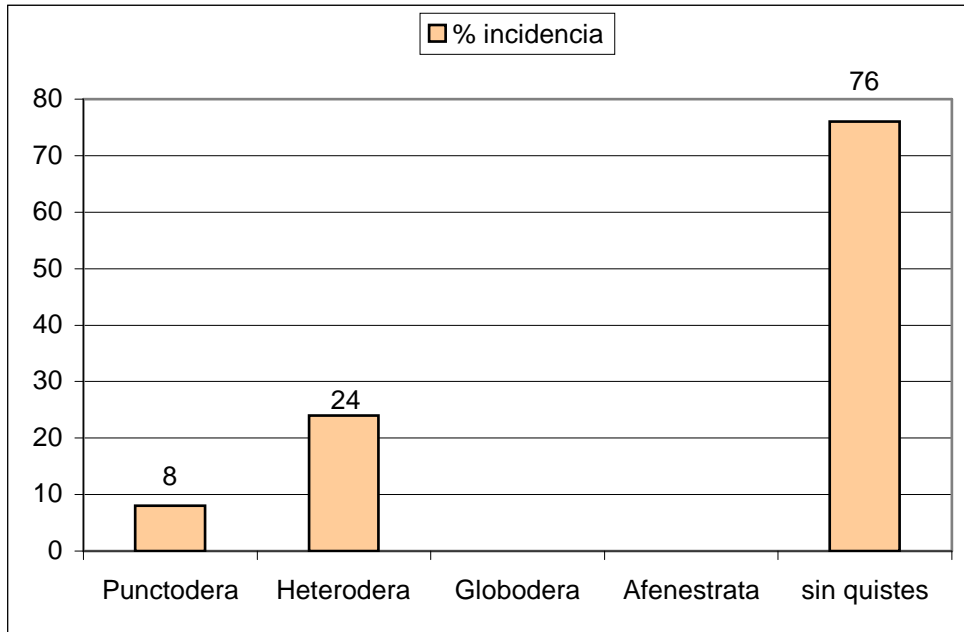


Figura 23. Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea El Xuluc.

Esta área fue la que presentó la menor presencia de nematodos de quiste, (76 % de área libre de quistes), de los pocos sitios donde se encontraron estos nematodos el género **Heterodera** presentó mayor presencia con densidades de 2 a 10 quistes/ 300 cc de suelo, y el otro género localizado y menos distribuido fue **Punctodera** con densidades de 5 a 15 quistes/ 300 cc de suelo como se muestra en el cuadro 11.

Para la aldea **EL PAHUIT** se muestrearon solamente 5 sitios debido a la poca extensión cultivada con papa, en 2 sitios se presentaron quistes donde **Globodera** tuvo 40 % de incidencia, seguido por **Punctodera**, **Heterodera** y **Afenestrata** con 20 % como se muestra en la figura 24 . En esta área los terrenos se localizan en laderas de altas montañas en donde la mayor altura de un sitio muestreado fue de 2178 hasta la menor altura de 1995 msnm lo que muestra que existe arrastre de partículas por erosión hídrica por lo que también de quistes, se cultiva en rotación maíz, frijol y zanahoria, esta es la otra área donde se presentan los cuatro géneros determinados en esta investigación.

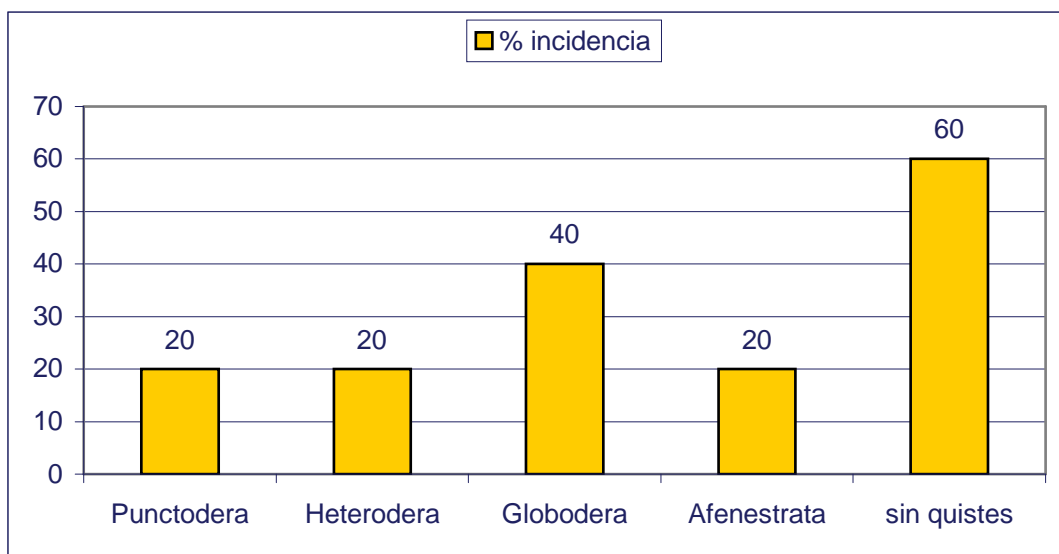


Figura 24. Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en la aldea El Pahuit.

En esta región los géneros **Punctodera**, **Heterodera** y **Globodera** presentaron densidades similares de 3 quistes/ 300 cc de suelo, solo que en este caso el género **Globodera** se presentó en un 40 % de los sitios muestreados por lo que fue el de mayor predominancia. El género **Afenestrata** presentó una densidad de 2 quistes/ 300 cc de suelo como se muestra en el cuadro 11.

En el área conocida como **EL LLANO** se muestrearon 6 sitios de los cuales solamente 1 presentó quistes de dos géneros como **Punctodera** y **Afenestrata** ambos con 16 % de incidencia como se muestra en la figura 25. Esta área esta anexa al sur del Valle de Patzcía, posee terrenos planos que van de los 2011 a los 2031 msnm, en ellos se cultiva papa, maíz y frijol en rotación.

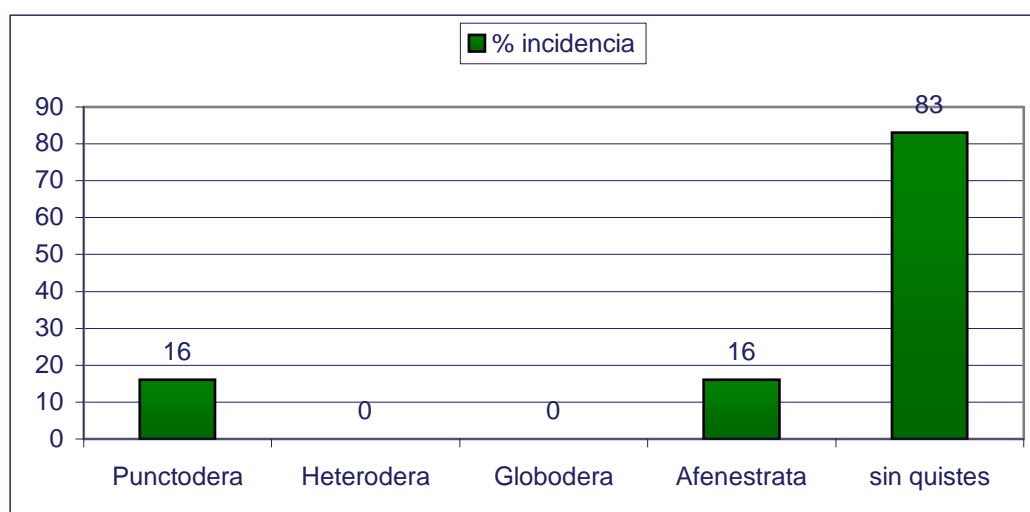


Figura 25. Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en El Llano.

En esta área no hubo predominancia de algún género, la mayor parte estaba libre de quistes (83 %), solamente existe la diferencia que **Punctodera** presentó mayor densidad con 5 quistes/ 300 cc de suelo en comparación con **Afenestrata** con 3 quistes/ 300 cc de suelo.

Para las tres áreas anteriormente descritas (El Xuluc, El Pahuit y El Llano) podemos ver que presentaron menor presencia de quistes, según las densidades presentadas para cada género estas son mínimas y no causan pérdidas significativas a los cultivos si se manejan los factores para mantener estas poblaciones bajas (4). El único género que llama la atención es **Globodera** encontrado en el Pahuit, presentó una densidad de 3 quistes/ 300 cc de suelo la cual es considerada alta en comparación del nivel de tolerancia para el nematodo dorado de la papa (16). En el cuadro 11 se presentan las densidades poblacionales de cada género para las tres áreas mencionadas en esta sección.

Cuadro 11. Densidades poblacionales y ubicación geográfica de géneros de quiste en la aldea El Xuluc, El Pahuit y El Llano, Patzicía .

ALDEA EL XULUC				TOTAL MUESTRAS = 25		MUESTRAS SIN QUISTES = 19	
Código	Coordenadas		msnm	Géneros y Densidades por 300 cc de suelo			
6	15 P	Utm		<i>PUNCTODERA</i>	<i>HETERODERA</i>	<i>GLOBODERA</i>	<i>AFENESTRATA</i>
XUL-4	719783	1621301	2041	5	3		
XUL-7	720287	1621552	2043		2		
XUL-16	720306	1623208	2045	15	10		
XUL-19	721065	1621433	2033		5		
XUL-22	721623	1620431	2029		3		
XUL-23	721754	1620476	2029		2		
TOTAL DE QUISTES				20	25	X	
PROMEDIO DENSIDAD POBLACIONAL POR GENERO				10	4	X	x
% DE INCIDENCIA POR GENERO				8	24	X	x
ALDEA EL PAHUIT				TOTAL MUESTRAS = 5		MUESTRAS SIN QUISTES = 3	
Código	coordenadas		msnm	Géneros y Densidades por 300 cc de suelo			
2	15 P	utm		<i>PUNCTODERA</i>	<i>HETERODERA</i>	<i>GLOBODERA</i>	<i>AFENESTRATA</i>
PAH-1	723404	1615526	2176			3	2
PAH-2	722652	1615386	1995	3	3	3	
TOTAL DE QUISTES				3	3	6	2
PROMEDIO DENSIDAD POBLACIONAL POR GENERO				3	3	3	2
% DE INCIDENCIA POR GENERO				20	20	40	20
EL LLANO				TOTAL MUESTRAS = 6		MUESTRAS SIN QUISTES = 5	
Código	coordenadas		msnm	Géneros y Densidades por 300 cc de suelo			
1	15 P	utm		<i>PUNCTODERA</i>	<i>HETERODERA</i>	<i>GLOBODERA</i>	<i>AFENESTRATA</i>
LLA-1	721923	1620258	2011	5			3
TOTAL DE QUISTES				5	x	X	3
PROMEDIO DENSIDAD POBLACIONAL POR GENERO				5	x	X	3
% DE INCIDENCIA POR GENERO				16	x	X	16

Para el **VALLE DE PATZICIA** se muestrearon 75 sitios por ser el área predominante en el municipio, de los cuales 29 presentaron quistes de los géneros **Punctodera** con 28 % de incidencia y **Heterodera** con 24 % como se muestra en la figura 26. Los terrenos en esta área son regularmente planos que van de los 1998 a los 2082 msnm lo que evita en mayor grado el arrastre de partículas de suelo a grandes distancias evitando la propagación de quistes, en toda esta área con el cultivo de papa se alternan otros cultivos como maíz, frijol, zanahoria, guicoy, crucíferas, rábano, haba y remolacha.

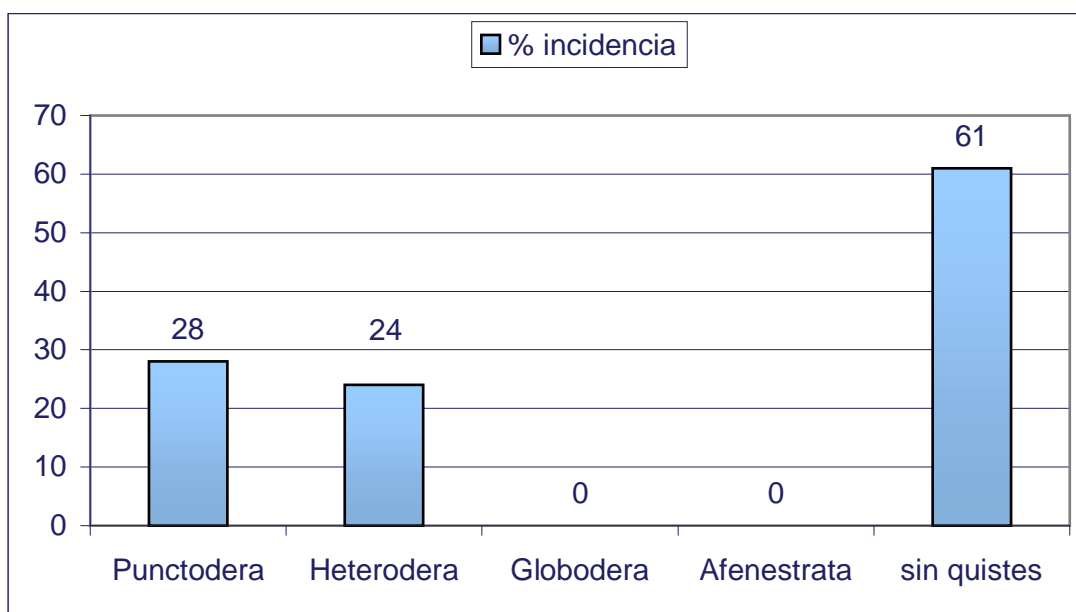


Figura 26. Porcentaje de incidencia de géneros de nematodos de quiste en el Valle de Patzicía.

En esta área el género *Punctodera* tuvo mayor presencia que **Heterodera**, las densidades presentadas fueron de 1 a 20 quistes/ 300 cc de suelo y de 1 a 15 quistes/ 300 cc de suelo respectivamente, se puede ver claramente también que el área está libre de quistes en buen porcentaje (61 %). Las densidades poblacionales por sitio en esta área se pueden observar claramente en el cuadro 12.

En este caso como se ha mencionado anteriormente el género **Punctodera** no es de importancia económica (4), para el género **Heterodera** se puede observar que las densidades poblacionales son bajas en comparación con los niveles de tolerancia para **H. schachtii**, **H. cruciferae** y **H. goettingiana** (9), eso indica que a pesar que los niveles poblacionales son bajos pueden ser plagas potenciales si no se manejan los campos de cultivo adecuadamente.

Cuadro 12. Densidades poblacionales y ubicación geográfica de los géneros de quiste encontrados en el Valle de Patzicía.

VALLE DE PATZICIA			TOTAL MUESTRAS = 75	MUESTRAS SIN QUISTES = 46			
codigo	coordenadas		msnm	Generos y Densidades por 300 cc de suelo			
29	15 P	utm		PUNCTODERA	HETERODERA	GLOBODERA	AFENESTRATA
PAT-4	724308	1618857	2014		4		
PAT-5	724464	1618868	2065		4		
PAT-10	724379	1619225	2009	15	10		
PAT-12	723934	1619395	2011	20			
PAT-15	723606	1620015	1998	3			
PAT-16	723559	1619912	2000	6	4		
PAT-17	723577	1619810	2007		6		
PAT-20	723773	1619507	2015		6		
PAT-27	723417	1619159	2036		2		
PAT-28	723062	1619893	2007		2		
PAT-32	723145	1620086	2008	1	3		
PAT-33	723214	1620003	2040	2			
PAT-34	722979	1620323	2011	2			
PAT-35	723062	1620604	2011	1	3		
PAT-39	723318	1620135	2008	3			
PAT-42	723529	1620562	2006	15	15		
PAT-43	723242	1620572	2007	5	5		
PAT-45	723311	1620830	2009	2			
PAT-50	723678	1621089	2009	7			
PAT-51	723783	1621181	2009		3		
PAT-52	723887	1621283	2004	2			
PAT-55	723920	1621984	2000	2			
PAT-56	723725	1622072	1999	3			
PAT-62	723499	1621425	2016	9	5		
PAT-63	723571	1621429	2006		2		
PAT-65	723094	1621138	2024	15			
PAT-68	722924	1621236	2025	2	2		
PAT-70	723053	1620800	2023	2	1		
PAT-72	722964	1620730	2023	4	2		
TOTAL DE QUISTES				121	79	x	X
PROMEDIO DENSIDAD POBLACIONAL POR GENERO				6	4	x	X
% DE INCIDENCIA POR GENERO				28	24	x	X

7.3 DESCRIPCION DE LOS GENEROS DE NEMATODOS DE QUISTE LOCALIZADOS EN LOS CAMPOS CULTIVADOS CON PAPA

Cada género localizado se determinó usando criterios morfológicos como la forma, el color o la presencia de cono vulval del quiste y comparaciones biométricas de fenestralias.

7.3.1 PUNCTODERA

Quistes con cuerpos en formas ovoides a esféricas y en forma de pera, no poseen cono terminal, estas formas correspondieron al género **Punctodera** (36) el cual fue encontrado en todas las aldeas, este género fue determinado también por observaciones a montajes de fenestras en los cuales se observaba la presencia de dos fenestras circulares una correspondiente a la vulva y la otra al ano como se muestra en la figura 27, la vulva es terminal. También se observó quistes de este género conteniendo huevos abundantes sin formar masas, la cutícula formada de líneas suaves bien marcadas y la coloración de esta iba del castaño claro al café.

A. *Punctodera* Mulvey & Stone, 1976



Figura 27. Corte de fenestralia de quiste (40 X)(izq) y quistes (der) del género **Punctodera** localizado en el municipio de Patzicía (fotos tomadas en laboratorio de Fitopatología FAUSAC, Feb 2003).

7.3.2 HETERODERA

Estos quistes encontrados tenían formas ovoides y forma de limón como se muestra en la figura 29, de tamaño menor que el género mencionado anteriormente, la principal característica al observarlos era la presencia de un cono terminal en la que se encontraba la fenestra vulval y el ano en la parte dorsal subterminal cercano a la vulva, estas características correspondieron al género **Heterodera** (36), se realizaron cortes de fenestralias lográndose observar las corrugaciones simétricas que van recorriendo el cuerpo del quiste, la presencia del puente y la abertura de la vulva como se muestra en la figura 28. La coloración de los quistes iba del castaño claro al marrón.

A. *Heterodera* Schmidt, 1871

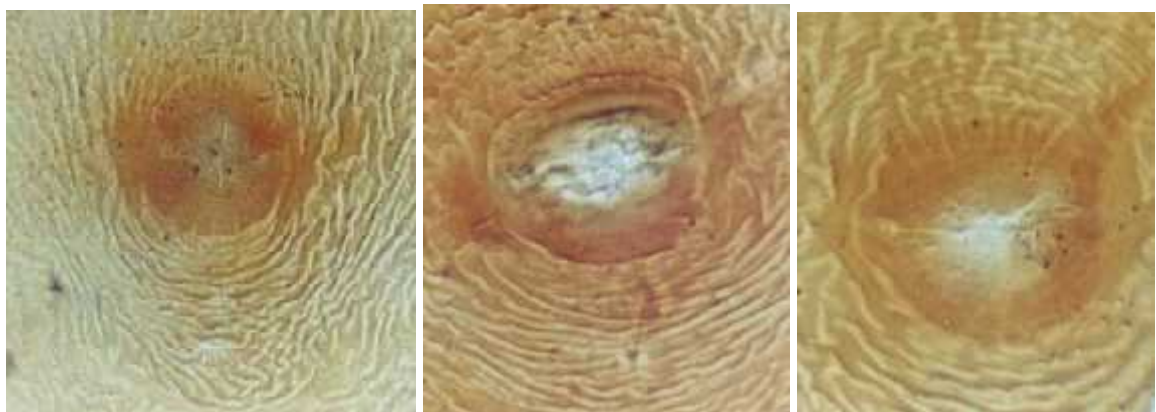


Figura 28. Cortes de fenestralias de quistes del género **Heterodera** localizados en el municipio de Patzicía (40 X)(fotos tomadas en laboratorio de Fitopatología FAUSAC, Feb 2003).



Figura 29. Forma característica de los quistes del género **Heterodera** (36).

7.3.3 AFENESTRATA

Género de quiste encontrado en muy pocos sitios fue de forma similar a *Heterodera*, su forma se inclina a lo subesférico y forma de limón, el tamaño es variable con tendencia al reducido, y la característica mas notable es la vulva terminal sobre una protuberancia cónica. Al realizarse los cortes perineales correspondientes puede observarse en el área vulval que la abertura es profunda y no se observa claramente, carecía de fenestra anal, la superficie del quiste posee un patrón parecido a encaje, el color de los quistes es café oscuro como se observa en la figura 30, todas estas características corresponden al género **Afenestrata** (36) .

A. *Afenestrata* Baldwin & Bell, 1985

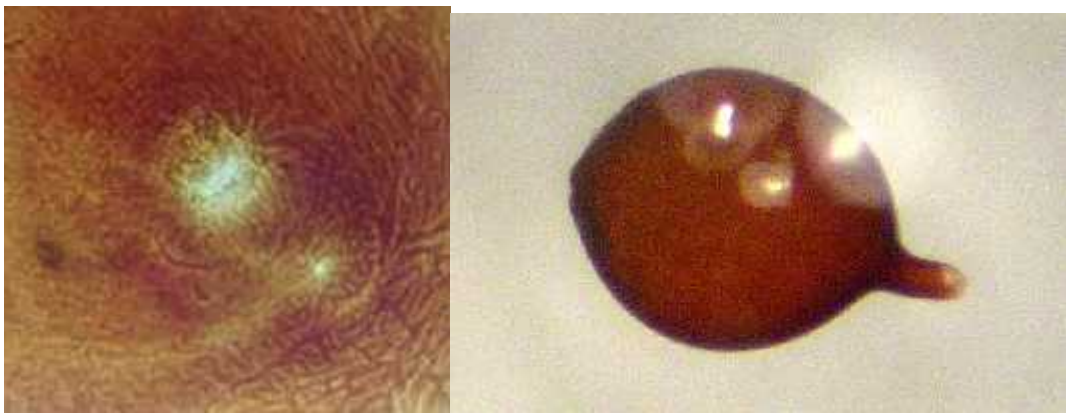


Figura 30. Corte de fenestralia de quiste (40 X)(izq) y quiste (der) del género **Afenestrata** localizado en el municipio de Patzicía (fotos tomadas en laboratorio de Fitopatología FAUSAC, Feb 2003).

7.3.4 GLOBODERA

El género que presentó forma esférica, con quistes color café oscuro con tamaño variable correspondió a **Globodera** (9,36), fue otro género que se encontró en pocos sitios, se realizaron cortes de fenestralias y se observó la presencia de fenestra vulval circumfenestrada y la ausencia de fenestra anal como se muestra en la figura 31, así también se midieron los siguientes caracteres: distancia ano-fenestra, diámetro y longitud de fenestra, número de líneas ano-fenestra y la relación de Granek's (15); esto para comparar si son similares o no a el nematodo dorado (**Globodera rostochiensis** y **G. pallida**), datos que se muestran en el cuadro 13 luego de ser medidos con un micrómetro en el microscopio compuesto con aumento de 40 X :

A. *Globodera* Skarbilovich, 1959 (Behrens, 1975)

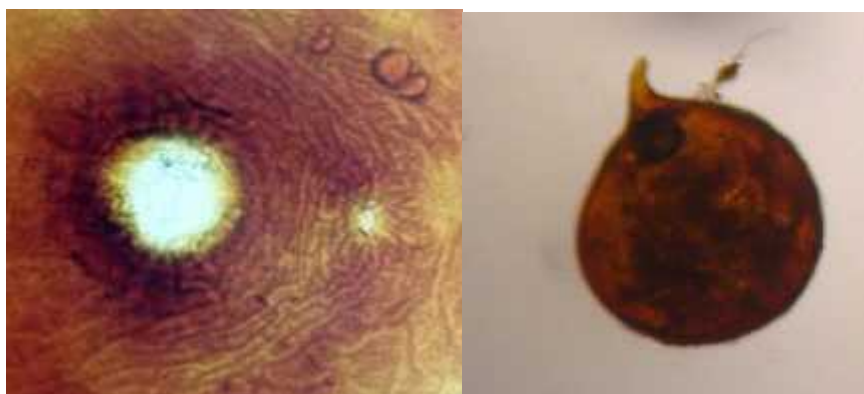


Figura 31. Corte de fenestralia de quiste (40 X) (izq) y quiste (der) del género ***Globodera*** localizado en el municipio de Patzicía) (fotos tomadas en laboratorio de Fitopatología FAUSAC, Feb 2003).

Cuadro 13. Datos biométricos de varios especímenes de quistes encontrados en áreas cultivadas con papa en el municipio de Patzicía y su comparación con datos biométricos del nematodo dorado.

	Dist ano-fen μm	Diám fen μm	Long fen μm	# líneas ano-fen	Rel Granek's
<i>Globodera</i>	41.7	41.7	38.7	12	1
<i>Globodera</i>	41.7	35.7	35.7	11	1.1
<i>Globodera</i>	44.7	35.7	35.7	11	1.25
<i>Punctodera</i>	95.3	50.6	44.7	25	1.88

Comparando :

<i>G. rostochiensis</i>	66.5	18.8	19.4	> 14	3.6
<i>G. pallida</i>	49.9	24.8	25.7	< 14	2.1
<i>G. tabacum</i>	35	15-28	15-32	< 14	1.5

Según los datos presentados en el cuadro anterior en contraste con el comparador podemos ver que los especímenes de ***Globodera*** encontrados no presentan ninguna característica que los incluya dentro de la especie del “nematodo dorado” debido a que los parámetros son muy variables y la relación de Granek's presenta alejamiento significativo en los datos encontrados en la medición por lo que es posible que este asociado a otro cultivo o maleza; los datos que se observan comparados con la literatura para los especímenes encontrados en Patzicía tienen tendencia a las especies que comprenden el complejo ***Globodera tabacum*** y a ***G. solanacearum*** y ***G. virginiae*** como subespecies (4, 36).

7.4 RESULTADO DE BIOENSAYOS

Luego de 65 días de crecimiento y desarrollo de las plantas de papa en macetas y que habían sido inoculadas previamente con quistes de los cuatro géneros determinados, fueron observadas en toda la fase fisiológica hasta la etapa de floración, y no se observaron síntomas de patogenicidad, debilidad, clorosis o escaso desarrollo en la parte aérea y las condiciones fisiológicas eran similares o mejores a las plantas testigo.

Para constatar que no hubo patogenicidad se observaron las raíces con estereoscopio para ver con detenimiento si existían daños visibles por nematodos en estas, en este caso no se encontró algún daño por enquistamiento, las raíces se observaron sanas y bien desarrolladas (ver cuadro 14A) . La especie del género **Globodera** encontrado en Patzicía e inoculado en el bioensayo no presentó patogenicidad en las plantas de papa por lo tanto esta especie no es parásito, sino de otro cultivo.

Para confirmar que los cuatro géneros de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* determinados e inoculados en el bioensayo no son parásitos de la papa se realizaron extracciones de quistes del suelo de todas las macetas sembradas con papa y se determinó que no hubo reproducción de los quistes, lo que indica que las raíces de papa no estimularon al rompimiento de la capa protectora del quiste y al desarrollo de las larvas como si ocurre con el nematodo dorado de la papa (38). Con respecto a lo anteriormente mencionado se puede afirmar que los cuatro género de nematodos determinados en las zonas de cultivo de papa en el municipio de Patzicía están asociados pero no son parásitos de este cultivo.

8. CONCLUSIONES

- 8.1 Los géneros de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae* presentes en las áreas de cultivo de papa en el municipio de Patzicía, Chimaltenango son: **Punctodera**, **Heterodera**, **Globodera** y **Afenestrata**.
- 8.2 De los cuatro géneros determinados de la subfamilia *Heteroderinae* ninguno de ellos mostró patogenicidad en las plantas de papa según la prueba de bioensayo.
- 8.3 El porcentaje de incidencia más alto por género determinado por total de sitios con presencia de quistes fue para el género **Punctodera** (31.5 %), seguido por **Heterodera** (28.6 %), **Globodera** (4%) y **Afenestrata** (2.9 %); en contraste con el total de sitios libres de quistes el cual fue mayor (56.7 %).
- 8.4 En las áreas donde se presentó el género **Globodera** fue en la aldea El Sitán y El Pahuit en los sitios codificados y localizados en :
- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| SIT- 4 (725689 : 1618021) | SIT - 22 (725364 : 1618922) |
| SIT- 7 (725551 : 1618374) | PAH- 1 (723404 : 1615526) |
| SIT - 9 (725504 : 1618546) | PAH- 2 (722652 : 1615386) |
| SIT -10 (725375 : 1618212) | |
- 8.5 Las áreas en que se dio mayor presencia de quistes fueron la aldea El Sitán (64 %) y El Camán (57.1 %), seguidos por Pahuit (40 %), Valle de Patzicía (38.6 %), donde se dio menor presencia de quistes fueron la aldea El Xuluc (24 %) y El Llano (16.6 %).
- 8.6 La densidad poblacional mas alta observada fue para el género **Punctodera**, seguido por **Heterodera**, **Globodera** y **Afenestrata**.

9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Realizar un muestreo intensivo en las áreas donde se localizó el género **Globodera** con el objetivo de determinar la especie y el cultivo que lo hospeda.
- 9.2 Realizar estudios para establecer el nivel de importancia del género **Heterodera**, determinar a qué cultivos afecta y el origen de su presencia en las áreas hortícolas del municipio de Patzicía.
- 9.3 Impulsar las actividades de monitoreo por parte de las autoridades para conocer de donde proviene la semilla de papa que se cultiva en el municipio de Patzicía y así evitar la propagación de plagas cuarentenadas.
- 9.4 Realizar una coordinación en el campo de la fitosanidad entre organizaciones de productores, instituciones de investigación y transferencia de tecnología, municipalidades e instituciones estatales que estén directamente involucradas en la producción de papa con el fin de mantener las áreas libres de plagas exóticas.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, GN. 1998. Fitopatología. Trad. por Manuel Guzmán. 2 ed. México, Limusa. 838 p.
2. Alvarez Cajas, VM. 1988. Tamaño de muestra: procedimientos usuales para su determinación. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados. 161 p.
3. Burrows, PR. 1990. The rapid and sensitive detection of the plant parasitic nematode *Globodera pallida* using a biotinylated DNA probe. *Revue Nématol.* 13:185–190.
4. CAB International. 2001. Crop protection compendium (disco compacto). United Kingdom. 1 CD.
5. Cid, AR. Del 1998. El cultivo de la papa. Guatemala, ICTA. 10 p.
6. COSAVE (Comite de Sanidad Vegetal del Cono Sur, PY). 2002. Hojas de datos sobre organismos cuarentenarios para los países miembros del COSAVE; ficha cuarentenaria, *Globodera rostochiensis*. Consultado Jul. 2002. Disponible en www.cosave.org.py/lpcgloboderarostochiensis.htm#distribución.
7. Cruz, JR de la 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. Christiansen, JA.; Vargas Machuca, R. 1980. La papa: su utilización. Guatemala, ICTA / PREDECODEPA. 50 p.
9. Decker, H. 1981. Plant nematodes and their control. *In* *Phytonematology*. New Delhi, Amerind Publishing. 540 p.
10. Fernández, M. 1981. Niveles de nitrógeno, fósforo y magnesio en suelos bajo el cultivo de papa, variedad Loman en el área de San José Pacul, Sacatepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 40 p.
11. Ferris, V.; Miller, L.; Faghihi, J.; Ferris, JM. 1995. Ribosomal DNA comparison of *Globodera* from two continents. *Nematologica*. 27:273-283.
12. García Martínez, M. 1980. Estudio analítico taxonómico de los nematodos del quiste (*Heterodera* spp.) en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 38 p.
13. Gómez Delgado, E. 1997. Evaluación del rendimiento de 4 variedades de papa (*Solanum tuberosum*) bajo las condiciones de la aldea Xeabaj, municipio de Santa Apolonia, departamento de Chimaltenango. Investigación Inferencial EPSA. Guatemala, USAC. 41 p.

14. Greco, N. 1993. Nematode problems affecting potato production in subtropical climate. *Nematropica* 23:213–220.
15. Greco, N.; Crozzoli, R. 2000. Nemátodos del quiste de la papa, *Globodera rostochiensis* y *G. pallida*: aspectos generales (en línea). Quito, Ecuador, Saninet. Consultado 14 jun. 2002. Disponible en www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html.
16. Greco, N.; Di Vito, M.; Brandonisio, A.; Giordano, I.; De Marins, G. 1982. The effect of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* on potato yield. *Nematologica* 28:379–386.
17. Greco, N.; Inserra, RN.; Brandonisio, A.; Tirro, A.; De Marinis, G. 1988. Life-cycle of *Globodera rostochiensis* on potato in Italy. *Nematologica. Medit.* 16:69-73.
18. Greco, N.; Moreno, IL. 1992. Development of *Globodera rostochiensis* during three different growing season in Chile. *Nematropica* 22:175–181.
19. _____. 1992. Influence of *Globodera rostochiensis* yield of summer, winter and spring sown potato in Chile. *Nematropica* 22:165–173.
20. Gudiel, VM. 1987. Manual agrícola Superb. 6 ed. Guatemala, Productos SuperB. 393 p.
21. Henkes, R.; Dunn, N. 1981. Aumenta el consumo de papa con nuevas variedades y nuevos métodos de producción, el cultivo de papa puede extenderse a un número mayor de regiones. *El Surco* no. 3:1-11.
22. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. v. 2, 791 p.
23. Jensen, AJ.; Armstrong, J.; Jatala, P. 1979. Annotated bibliography of nematode pest of potato. Lima, Perú, CIP. 315 p.
24. Jones, S. 1988. Sistemática vegetal. México, Mc-Graw Hill. 527 p.
25. Karsen, G.; Hoensalar Van, T.; Verkekrk–Bakker. 1995. Species identification of cyst an root-knot nematodes from potato by electrophoresis of individual females. *Electrophoresis* 16:105–109.
26. Kort, J.; Ross, H.; Rumpenhurst, J.; Stone, AR. 1977. An international scheme for identifyng and classifyng pathotypes of potato cyst–nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica* 23:33-339.
27. López, J. 2002. Sistema de vigilancia fitosanitaria (entrevista). Guatemala, MAGA.

28. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT), Unidad de Normas y Regulaciones. 2000. Ley de sanidad vegetal y animal; documento 1, serie normativa. 2 ed. Guatemala. 45 p.
29. Medida hondureña no afecta al país. 2002. Prensa Libre, GT, Abr. 3:4.
30. Mugnery, D. 1978. Vitesse de developpement en fonction de la temperature de *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*. Revue Nématol. 1:3-12.
31. Ortuño, N. Producción de tubérculos para semilla de papa libre de nematodos; hoja técnica. Revista Manejo Integrado de Plagas. Consultado en Jul. 2002. Disponible en www.catie.ac.cr/información/RMIP/rmip52/nht52-1.htm#Introducción.
32. Países centroamericanos cierran mercados de papa. 2001. Diario al Día, Guatemala, GT, Dic. 5:7.
33. Pérez Beltrán, O. 1995. Evaluación de 4 tratamientos de nitrógeno y fósforo y 3 densidades de siembra en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en el municipio de Palencia, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 41 p.
34. Schots, A.; Bakker, J.; Gommers, FJ.; Bouwman–Smits, L. 1987. Serological differentiation of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* partial purification of species-specific proteins. Parasitology 95:421-428.
35. Seinhorst, JW. 1982. The relationship in field experiments between population density of *Globodera rostochiensis* before potato and yield potato tubers. Nematologica 28:277-284.
36. Sidiqqi, MR. et al. 2000. The order *Tylenchida*. 2 ed. UK, Commonwealth Agricultural Bureau. 833 p.
37. Simmons, C.; Tarano, JM.; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
38. Stone, AR. 1973. *Heterodera pallida*; CIH descriptions of plant parasitic nematodes. UK, CAB. 2 p. (Set 2, no. 17).
39. Stone, AR. 1973. *Heterodera rostochiensis*; CIH descriptions of plant parasitic nematodes. UK, CAB. 4 p. (Set 2, no. 16).
40. Taylor, AL. 1971. Introducción a la nematología vegetal aplicada; guía de la FAO para el estudio y combate de los nemátodos parásitos de las plantas. Roma, Italia, FAO. 131 p. (Documentos Mixtos no. 30705).

41. Thorne, G. 1961. Principles of nematology. New York, Mc-Graw Hill. s.p. (Book 3).
42. Trudgill, DL. 1985. Potato cyst nematodes: a critical review of the current pathotyping scheme. EPPO Bulletin 15:273-279.
43. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 1999. Biología de los nemátodos. Guatemala. 20 p.
44. _____. 2001. Manual de prácticas de laboratorio del curso de nemátodos fitopatógenos. Guatemala. 20 p.
45. Zuckerman, BM.; Mai, WF.; Rodhe, RA. 1981. Plant parasitic nematodes. New York, Academic Press. v.1, 345 p.

11. ANEXOS

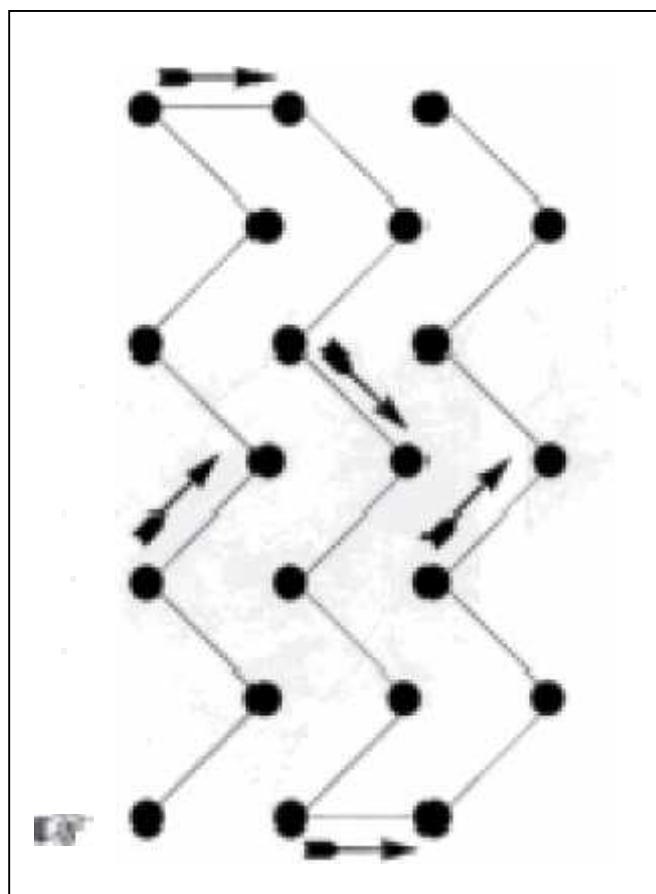


FIGURA 32A Forma de muestreo de suelo en zig-zag utilizado en esta investigación.



Figura 33A. Fase de extracción de quistes por el método Fenwick (izq) y material orgánico y quistes obtenidos de la extracción (der)(fotos tomadas en laboratorio de Fitopatología Oct 2002).

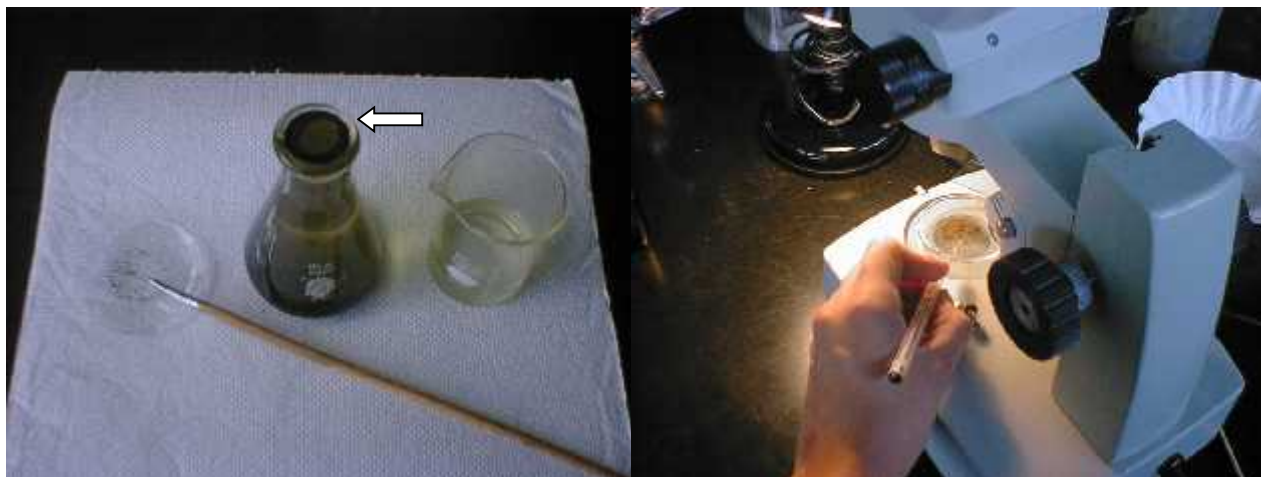


Figura 34A. Extracción de quistes por flotación en acetona (izq) y separación de quistes de material orgánico vistos en estereoscopio (der) (fotos tomadas en laboratorio de Fitopatología Oct 2002).



Figura 35 A. Muestra de algunas macetas sembradas con papa e inoculadas con quistes de cada género localizados en Patzicía y un testigo (foto tomada en Ene 2003).

Cuadro 14A. Resultados de los bioensayos realizados en macetas con plantas de papa inoculadas con los géneros presentes en el municipio de Patzcía.

Código	Género a observar	Patogenicidad en papa		Daño en raíces	
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 1	Repetición 2
SIT-1	<i>Punctodera</i>	x	x	x	X
SIT-4	<i>Heterodera</i>	x	x	x	X
SIT-4	Globodera	x	x	x	x
SIT-5	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
SIT-7	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
SIT-7	Globodera	x	x	x	x
SIT-7	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
SIT-9	Globodera	x	x	x	x
SIT-10	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
SIT-10	Globodera	x	x	x	x
SIT-19	<i>Afenestrata</i>	x	x	x	x
SIT-22	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
SIT-22	Globodera	x	x	x	x
CAM-2	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
CAM-6	<i>Afenestrata</i>	x	x	x	x
CAM-15	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
CAM-17	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
CAM-17	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
XUL-4	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
XUL-4	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
XUL-16	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
XUL-16	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
PAH-1	Globodera	x	x	x	x
PAH-1	<i>Afenestrata</i>	x	x	x	x
PAH-2	Globodera	x	x	x	x
PAH-2	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
PAH-2	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
LLA-1	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
PAT-4	<i>Heterodera</i>	x	x	x	x
PAT-10	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
PAT-12	<i>Punctodera</i>	x	x	x	x
PAT-42	<i>Heterodera</i>	x	x	x	X
PAT-42	<i>Punctodera</i>	x	x	x	X
PAT-65	<i>Punctodera</i>	x	x	x	X
PAT-72	<i>Heterodera</i>	x	x	x	X

Figura 36A. Mapas representando géneros de quiste en los puntos de muestreo.

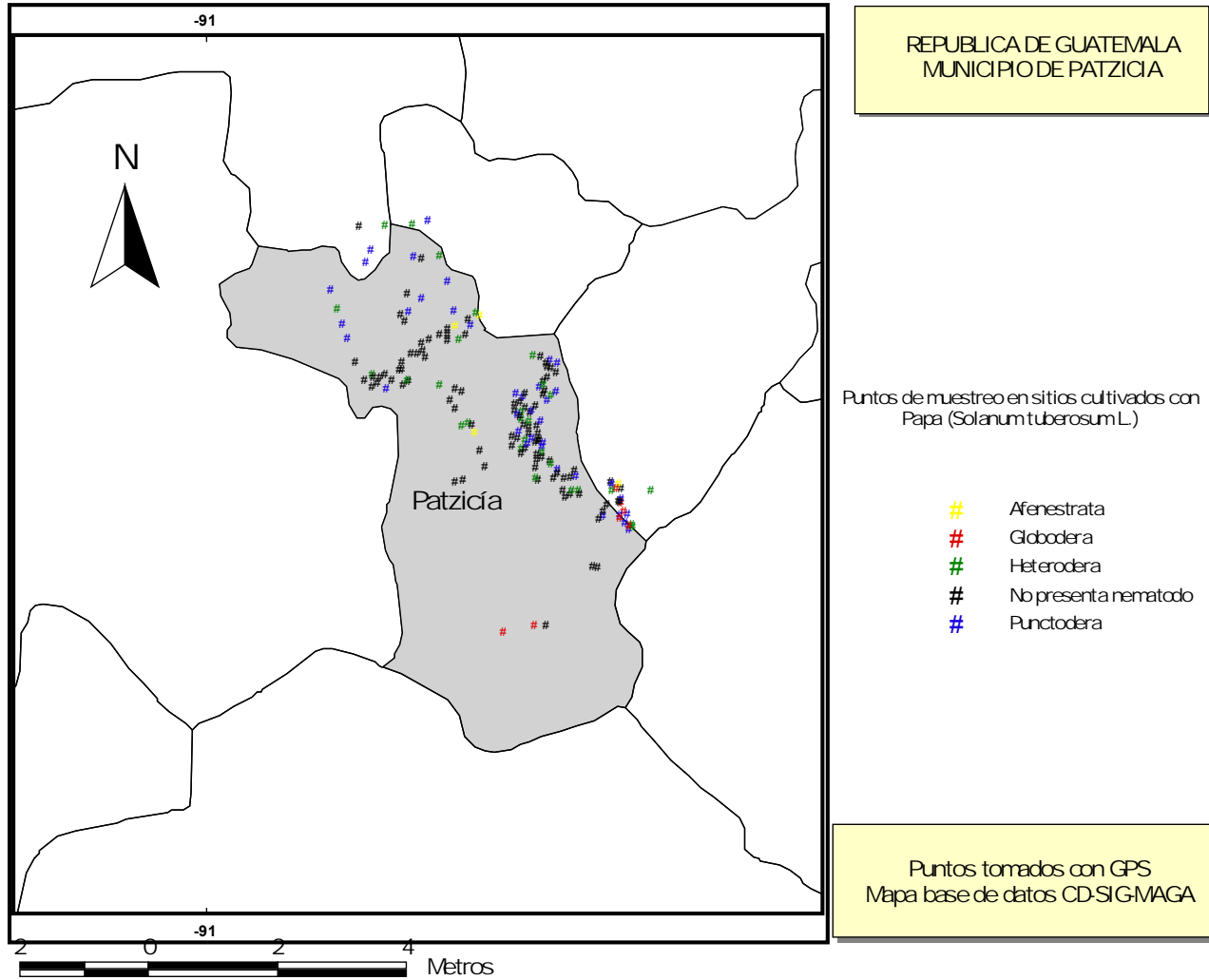


Figura 37 A.

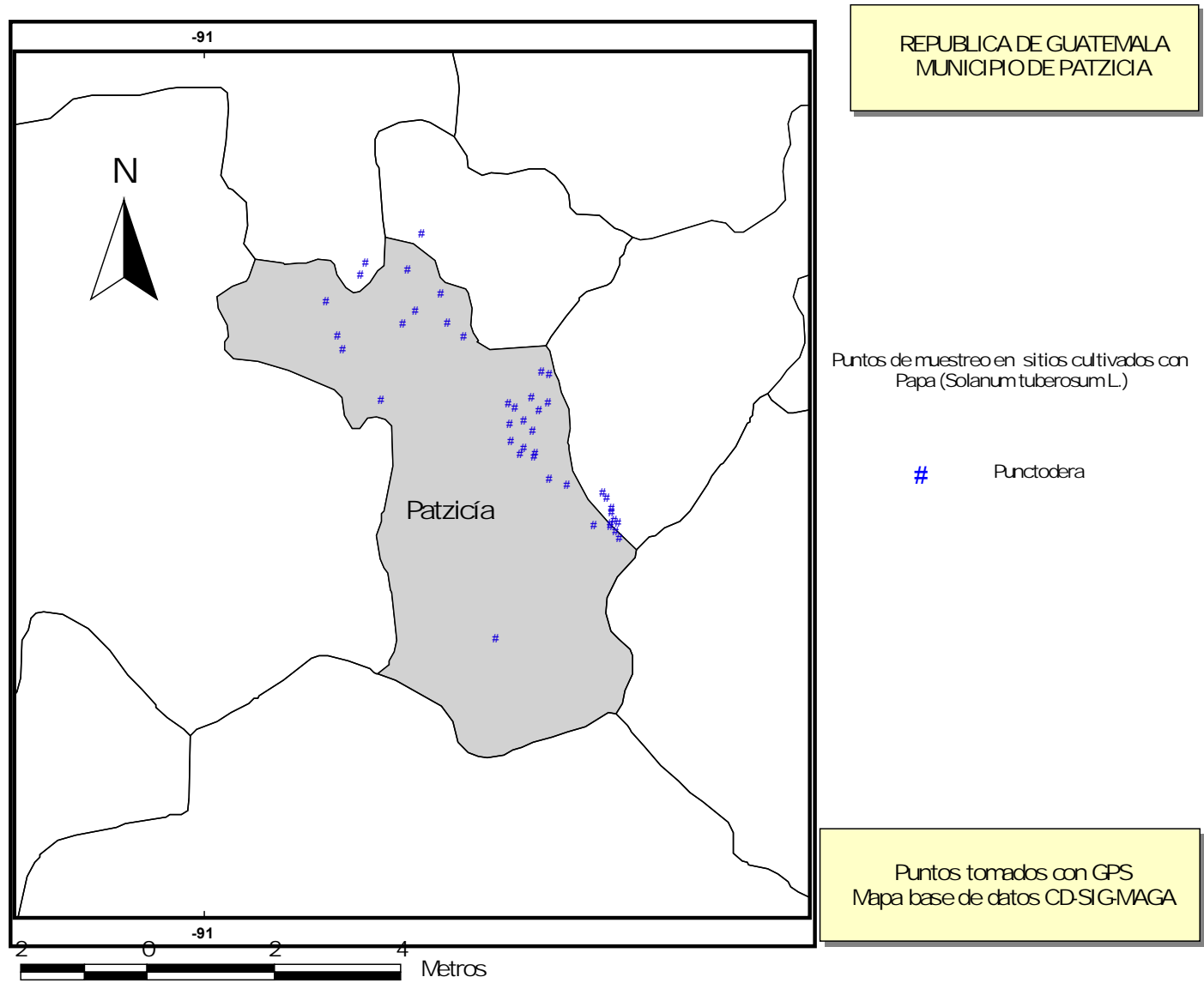


Figura 38 A.

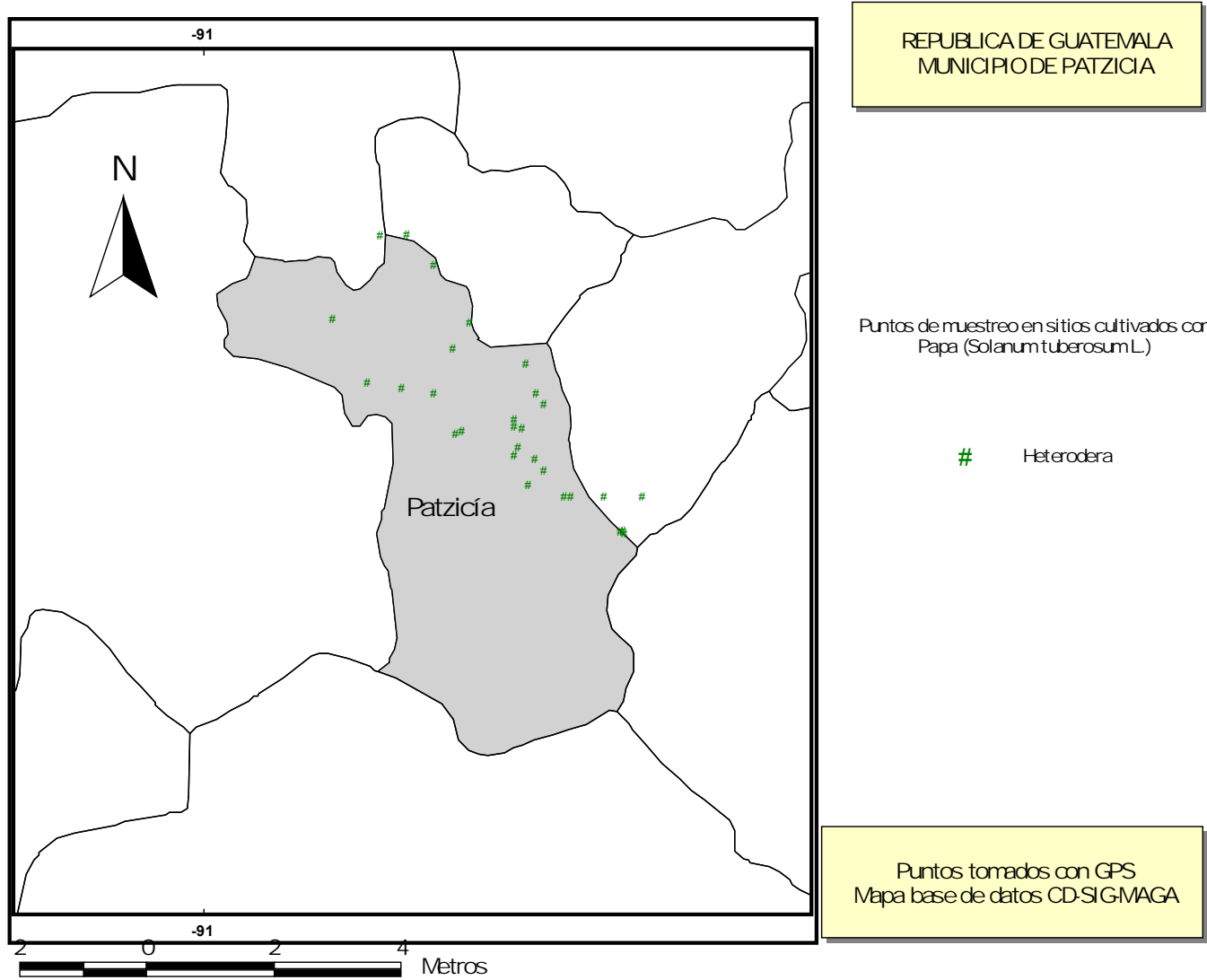


Figura 39 A.

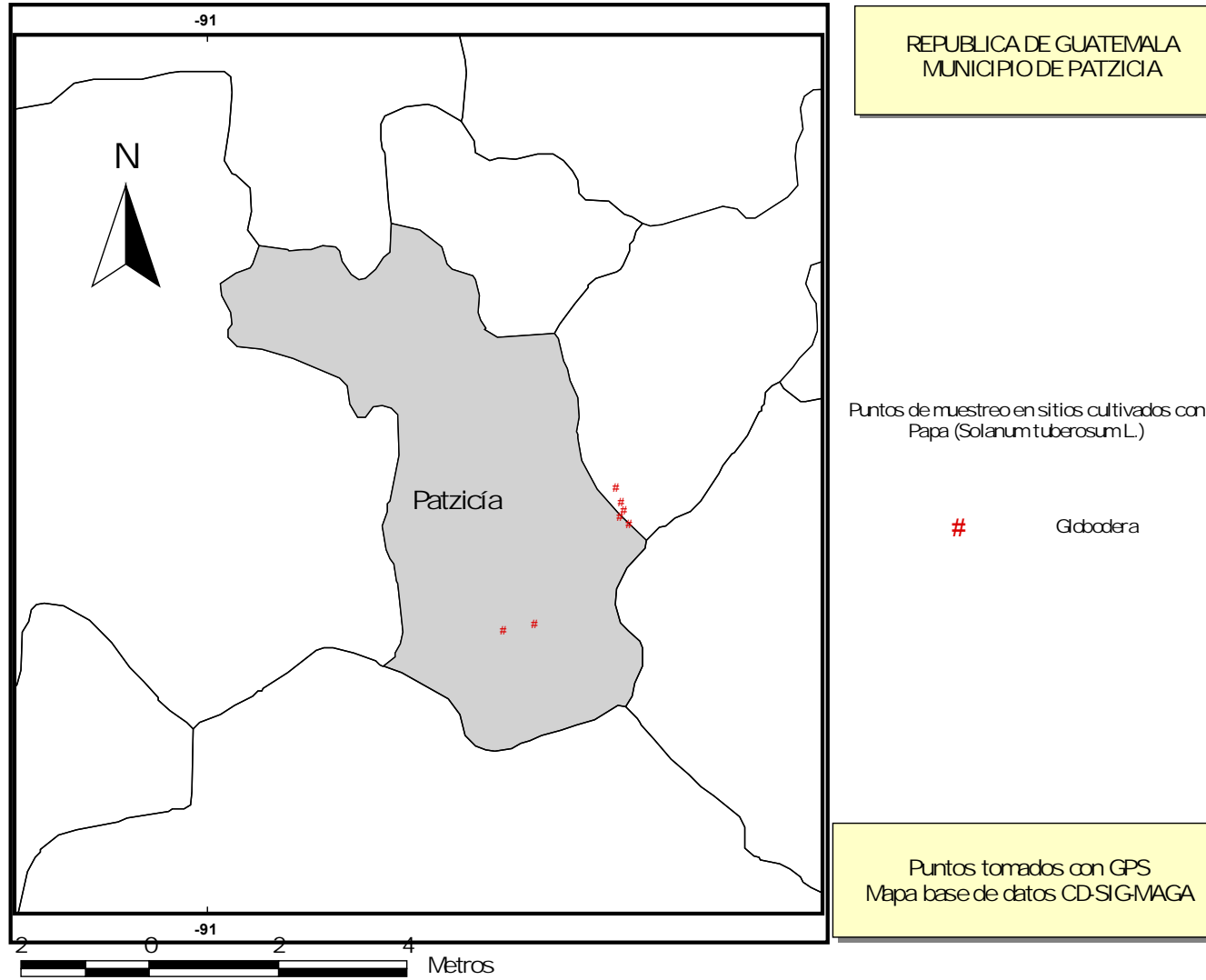
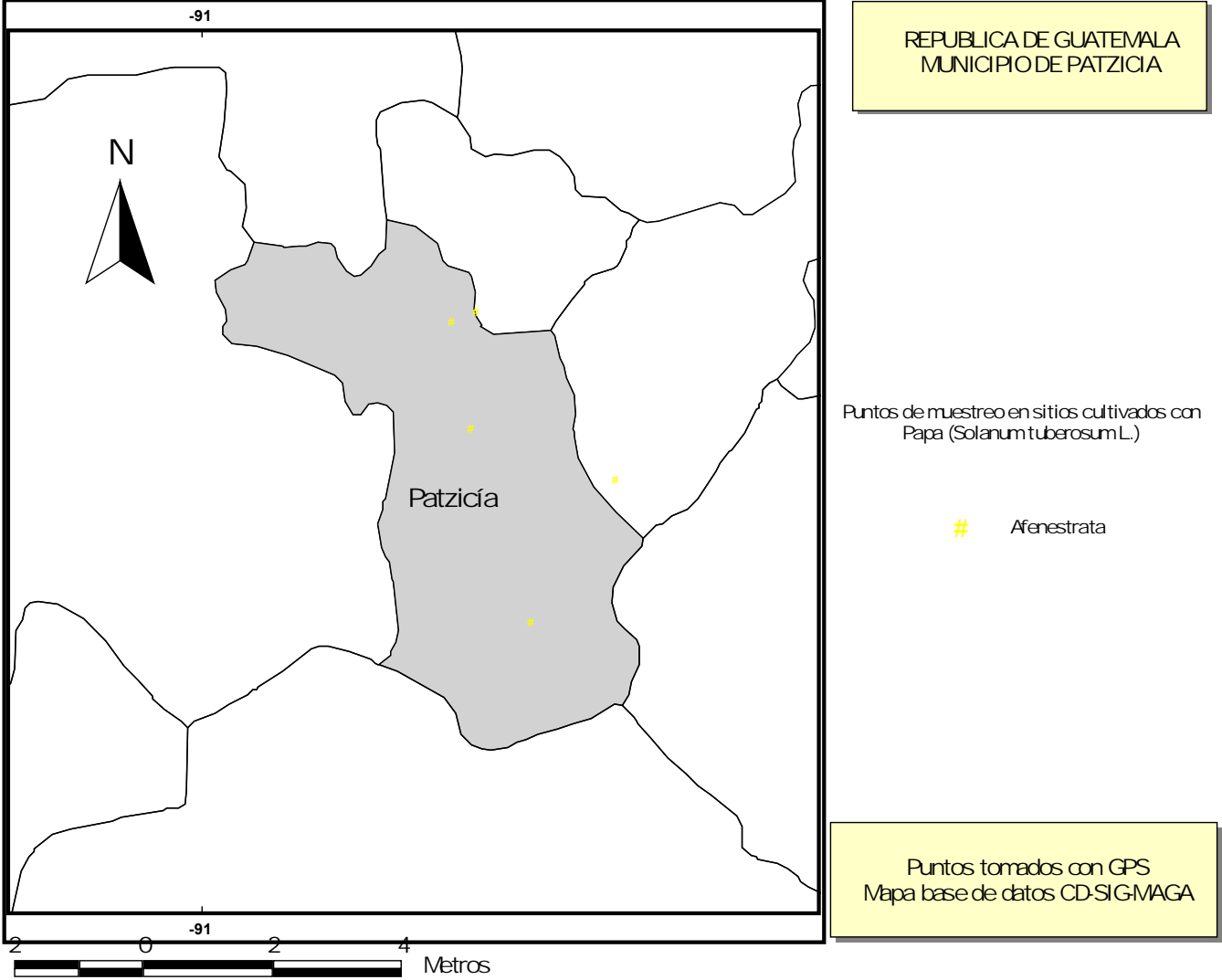


Figura 40 A.



Cedia